

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08015499
PUBLICATION DATE : 19-01-96

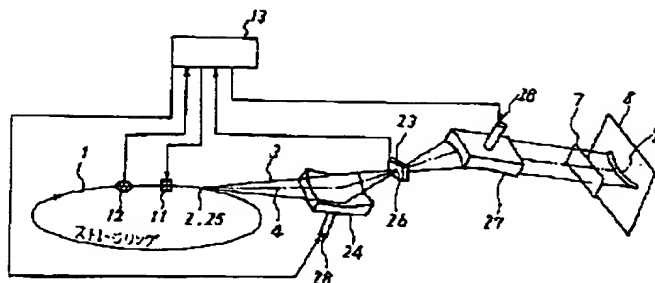
APPLICATION DATE : 28-06-94
APPLICATION NUMBER : 06146484

APPLICANT : MITSUBISHI ELECTRIC CORP;

INVENTOR : SHIMANO HIROKI;

INT.CL. : G21K 1/06 G03F 7/20 G03F 7/20
H05H 13/04

TITLE : X-RAY ALIGNER AND X-RAY
EXPOSURE METHOD



ABSTRACT : PURPOSE: To supply a stable X-ray on an exposure face even in the case where an electron beam orbit is fluctuated by providing an X-ray beam position detection function in an X-ray optical system itself of a beam line and performing position correction of an electronic beam by a real time at the time of exposure.

CONSTITUTION: When a synchrotron radiation light source point 2 in a focal position 25 of an X-ray reflection mirror 24 and an electron beam orbit 1 is displaced by various external factors, only a position displacement quantity changes. The displacement of the light source point 2 appears as that of the center position of a converging X-ray beam at the focal position 26. (the reverse face of the mirror 24 is made, for instance, a toroidal face) Thus the center position of the converging X-ray beam is detected by a detector 23 provided at the focal position 26, so that the displacement position of the electron orbit 1 can be monitored at the light source point 2. Furthermore position information of the electron orbit 1 and the light source point 2 is used and a feedback system is utilized, so that the position displacement of the light source point 2 is always kept minimum and a stable exposure X-ray can be supplied on an exposure face 8.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-15499

(43) 公開日 平成8年(1996)1月19日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 K 1/06		F		
G 0 3 F 7/20	5 0 3			
	5 2 1			
H 0 5 H 13/04		U		

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平6-146484

(22) 出願日 平成6年(1994)6月28日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 島野 裕樹

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機
株式会社半導体基礎研究所内

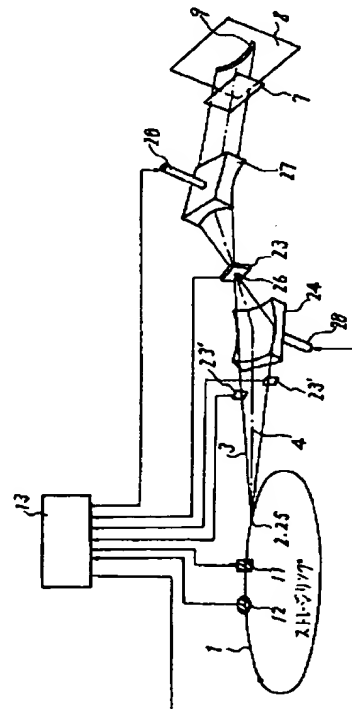
(74) 代理人 弁理士 高田 守

(54) 【発明の名称】 X線露光装置及びX線露光方法

(57) 【要約】

【目的】 シンクロトロン放射光をX線源とするX線露光装置において、電子ビーム軌道が変動して、シンクロトロン放射光源の位置及び光軸角度が変位しても電子ビーム軌道の変位量を最小にするフィードバックシステムを搭載することにより、安定したX線を露光装置に提供することを目的とする。

【構成】 X線露光装置のX線光学系のX線反射ミラーの焦点位置及び、光源からX線反射ミラーへ入射するまでのX線の光路にX線ビーム位置検出器を配置して、光源の位置及び角度変位を直接計測し、この情報を電子ビーム軌道制御系（軌道補正用ステアリング電磁石）にフィードバックして電子ビーム軌道を制御する。さらに、X線反射ミラーの駆動制御機構や揺動平面ミラーを付加し、安定したX線を露光装置に提供し、精度の高い転写パターンを得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ストレージリングに配置された複数の電磁石により軌道を制御された電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第1の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第1のX線、該X線を少なくとも1枚以上のX線反射ミラーにより成形してマスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写するための第1のX線光学系を備えたX線露光装置において、前記第1のX線光学系にストレージリングの第1の光源より出射される第1のX線の第1の光源における位置又は光軸の角度を計測する手段を備えたことを特徴とするX線露光装置。

【請求項2】 前記第1のX線光学系とは別に、前記電子ビームにより励起され第2の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第2のX線、該第2のX線を少なくとも1枚以上のX線反射ミラーにより成形してマスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写するための第2のX線光学系を有するX線露光部を備えたことを特徴とする請求項1記載のX線露光装置。

【請求項3】 前記第1のX線光学系に配置されたX線反射ミラーのX線の入射側の第1の焦点距離がX線の反射される側の第2の焦点距離より小さいことを特徴とする請求項2記載のX線露光装置。

【請求項4】 前記第1のX線光学系に設けられた第1の光源より出射される第1のX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が該光源より出射された該X線の第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点に配置されたことを特徴とする請求項1又は請求項2記載のX線露光装置。

【請求項5】 前記第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点位置が水平方向と垂直方向で一致する曲面形状を有するX線反射ミラーであることを特徴とする請求項4記載のX線露光装置。

【請求項6】 前記第1のX線反射ミラーの曲面形状が回転楕円体面又はトロイダル面であることを特徴とする請求項5記載のX線露光装置。

【請求項7】 前記第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点位置が水平方向と垂直方向で異なる曲面形状を有するX線反射ミラーであることを特徴とする請求項4記載のX線露光装置。

【請求項8】 前記第1のX線反射ミラーの曲面形状が水平方向と垂直方向の焦点距離の異なるトロイダル面であることを特徴とする請求項7記載のX線露光装置。

【請求項9】 前記第1のX線反射ミラーにより反射されたX線をX線マスク上でコリメートするための第2のX線反射ミラーの曲面形状が回転楕円体面、トロイダル面又は回転放物面を有することを特徴とする請求項5～8のいずれか1項に記載のX線露光装置。

【請求項10】 前記第2のX線反射ミラーとX線マスクとの間に揺動機構を有する平面ミラーを配置したこと

を特徴とする請求項9記載のX線露光装置。

【請求項11】 前記第1の光源と第1のX線反射ミラーとの間に該光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段をさらに備えたことを特徴とする請求項4記載のX線露光装置。

【請求項12】 前記第1の光源と第1のX線反射ミラーとの間に配置され第1の光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段の近傍にイオン捕獲電極を備えたことを特徴とする請求項11記載のX線露光装置。

【請求項13】 前記第1のX線光学系に配置した第1のX線反射ミラーと前記第2のX線反射ミラー又は前記第2のX線光学系に配置したX線反射ミラーを独立に駆動制御する機構を備えたことを特徴とする請求項1又は請求項2記載のX線露光装置。

【請求項14】 前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、駆動機構を備えた蛍光板であることを特徴とする請求項4記載のX線露光装置。

【請求項15】 前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、X線のビームサイズにより制御されたワイヤ間距離を有するワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器であることを特徴とする請求項4又は請求項11記載のX線露光装置。

【請求項16】 前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、複数の半導体光検出器であることを特徴とする請求項4又は請求項11記載のX線露光装置。

【請求項17】 前記半導体光検出器の前面に可視光を遮断するフィルタを配置することを特徴とする請求項16記載のX線露光装置。

【請求項18】 前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、2分割光電子放出三角板電極型X線ビーム位置検出器であることを請求項11記載のX線露光装置。

【請求項19】 前記2分割光電子放出三角板電極型X線ビーム位置検出器の2分割三角板電極にX線が斜めに照射するように、該X線ビーム位置検出器を配置したことを特徴とする請求項18記載のX線露光装置。

【請求項20】 前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段の前面に数10Åより長波長の光を遮断するフィルタを配置することを特徴とする請求項14又は請求項19記載のX線露光装置。

【請求項21】 ストレージリングに配置された複数の電磁石により軌道を制御される電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され光源より放射され光軸を中心として発散角を有するX線、該X線を少なくとも1枚以上のX線反射ミラーにより成形するためのX線光学系、該X線光学系に配置した前記光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段

を備えた X 線露光装置を用いて、マスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写する X 線露光方法において、ストレージリングにおける電子ビームの軌道位置を計測する第 1 のステップと、前記 X 線反射ミラーの焦点に配置した計測手段により前記光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する第 2 のステップと、前記第 2 のステップにおいて得られた光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位を特定の値と比較する第 3 のステップと、前記第 3 のステップで光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断された場合第 1 及び第 2 のステップにより得た情報をもとにストレージリングに配置された複数の電磁石を用いて、光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第 4 のステップと、前記第 3 のステップで光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断されなかった場合又は前記第 4 のステップで光源での X 線の位置変位および光軸の角度変位が最小に設定された後該 X 線を用いてマスク上に形成されたパターンをウエハ上に転写し露光する第 5 のステップとを含むことを特徴とする X 線露光方法。

【請求項 2 2】 前記 X 線反射ミラーと光源との間に配置した計測手段により前記光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する第 6 のステップを、前記第 2 と第 3 のステップの間に配置し、前記光源の位置変位及び角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第 4 のステップにおいて、前記第 1、第 2 及び第 6 のステップにより得た情報をもとにストレージリングに配置された複数の電磁石を用いて光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御することを特徴とする請求項 2 1 記載の X 線露光方法。

【請求項 2 3】 前記第 1、第 2 又は第 6 のステップにより得た情報を元に前記 X 線光学系に配置した少なくとも 1 つ以上の X 線反射ミラーをウエハ上に到達する X 線の変位量が最小となるように駆動制御する第 7 のステップを前記第 5 のステップの前に配置したことを特徴とする請求項 2 1 又は請求項 2 2 記載の X 線露光方法。

【請求項 2 4】 ストレージリングに配置された複数の電磁石により軌道を制御された電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第 1 の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第 1 の X 線、該第 1 の X 線を少なくとも 1 枚以上の X 線反射ミラーにより成形するための第 1 の X 線光学系、該第 1 の X 線光学系に設けられ放射された第 1 の X 線の第 1 の光源における位置又は光軸の角度を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第 2 の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第 2 の X 線、前記第 2 の X 線を少なくとも 1 枚以上の X 線反射ミラーにより成形して露光領域まで X 線を導く第 2 の X 線光学系とを備えた X

線露光装置を用いて、マスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写する X 線露光方法において、ストレージリングにおける電子ビームの軌道位置を計測する第 1 のステップと、前記第 1 の X 線光学系において第 1 の X 線の第 1 の光源における位置又は光軸の角度を計測する第 2 のステップと、前記第 2 のステップにおいて得られた第 1 の光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位を特定の値と比較する第 3 のステップと、前記第 3 のステップで第 1 の光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断された場合前記第 1 及び第 2 のステップにより得た情報をもとにストレージリングに配置された複数の電磁石を用いて第 1 の光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第 4 のステップと、前記第 3 のステップで第 1 の光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断されなかった場合又は前記第 4 のステップで第 1 の光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小に設定された後その制御された軌道を有する電子ビームの第 2 の光源から放射された第 2 の X 線を用いてマスク上に形成されたパターンをウエハ上に転写し露光する第 5 のステップとを含むことを特徴とする X 線露光方法。

【請求項 2 5】 前記第 1 又は第 2 のステップにより得た情報をもとに X 線光学系に配置した X 線反射ミラーをウエハに到達する X 線の変位量が最小となるように駆動制御する第 6 のステップを、前記第 5 のステップの前に配置したことを特徴とする請求項 2 4 記載の X 線露光方法。

【請求項 2 6】 前記光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小となるように電子ビームの軌道を制御するステップにおいて、予め用意した前記電磁石の励磁条件と光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることにより電子ビームの軌道を制御することを特徴とする請求項 2 1 ～ 2 5 のいずれか 1 項に記載の X 線露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、特に超電導偏光磁石を搭載したような小型ストレージリングによるシンクロトロン放射光源を X 線光源として利用し、X 線マスク上に形成された半導体回路パターンを上記 X 線光源から放射する X 線ビームによって感光性レジストの塗布されたウエハ面上に転写するための X 線露光装置及びその装置を用いた X 線露光方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ストレージリング内を周回する電子ビームにより励起された光を放射するシンクロトロン放射光源は、点状の光源で、放射される光は硬 X 線から可視光まで広がる広帯域のスペクトルを持ち、水平方向には大きな発散角、垂直方向には小さな発散角を持つシート状

のものである。このようなシンクロトロン放射光をX線源として利用するX線露光技術は、1ギガビットダイナミック・ランダム・アクセスメモリ(DRAM)以降の世代の半導体メモリすなわち回路パターン設計寸法が $0.15\mu\text{m}$ 以下のメモリへ適用する超微細加工技術として有望視されている。このようなシンクロトロン放射光を利用するX線露光装置として、例えば雑誌(Journal Vacuum Science Technology B6 1988年 第2128頁～第2131頁)に掲載されたものを図29に示す。図中(a)において、1はストレージリング内を周回する電子ビーム軌道、2は点光源状のシンクロトロン放射光源、3はシンクロトロン放射光源点2から水平方向、垂直方向に発散角をもって放射されるシンクロトロン放射光、4はシンクロトロン放射光3の光軸、5は反射面の曲面形状が円筒面であり、適当な角度範囲で垂直方向に揺動し、その揺動速度を制御できる機構を備えたX線反射ミラー、6はX線反射ミラー5によって形成されたX線ビーム、7は例えばベリリウムの薄膜等からなる真空窓、8はウエハ上の露光面、9はX線ビーム6が露光面8に入射してきた円弧を持った帯状の照射領域、10は露光フィールド全体である。図30に円筒状X線反射ミラー5を揺動して、円弧を持った帯状の照射領域9を露光面8上で垂直方向に掃引する状態を示す。図において、例えばX線ビームの照射領域9aが照射領域9bまで露光フィールド10全体を掃引する様子を示している。図中(b)はシンクロトロン放射光源の拡大原理図である。シンクロトロン放射光は、ストレージリング中の電子ビーム軌道1をほぼ光速で運動する電子を偏向磁石43の磁界により曲げた時に軌道の接線方向に放射される電磁波である。

【0003】次にこの装置の動作を説明する。シンクロトロン放射光源2から硬X線から可視光域まで広がるスペクトルを持ち、水平方向、垂直方向に発散角を持って放射するシンクロトロン放射光3は、X線反射ミラー5で反射して硬X線成分が遮断され、さらにコリメートされたX線ビーム6になる。X線ビーム6はベリリウムの薄膜等でできた真空窓7を透過し、ベリリウムの波長選択フィルターの働きにより10数Å以上の長波長域成分が遮断される。これにより、X線露光に最適な5～12Åの波長帯域のみ取り出され、円筒状X線反射ミラー5の集光特性によって露光面8上に円弧を持った帯状の形状の照射領域9を形成する。さらに照射領域9はX線反射ミラー5の揺動機構によって垂直方向に掃引され、露光フィールド全体10をカバーする。ところが、X線反射ミラー5を揺動するとシンクロトロン放射光3のX線反射ミラー5面での入射角度が変化するため、X線反射ミラー5により反射されたX線の集光条件が変化し、その結果、図30に示すようにX線の照射領域9が露光面8上を垂直方向に掃引されるに従い、その形状が変化する。例えば、照射領域9aと照射領域9bでは形状が異なっている。このために一定の掃引速度のもとでの露光X線強度

は、露光フィールド10上で垂直方向に均一でなくなる。そこでX線反射ミラー5に備えた揺動速度の制御機構によって掃引速度を制御し、すなわちX線強度の高い領域では早く、X線強度の低い領域では遅く掃引することで、時間積算として露光X線強度を均一に補正してきた。

【0004】また、ストレージリング内を周回する電子ビームの軌道は、ストレージリングの周囲に配置してある各種の電源からの電磁ノイズ、冷却水の温度上昇、内外気温の変化による建屋の歪み、地殻変動等の外部要因によって、周期の長い変動を起し、その変動幅は1mm程度に達する場合がある。例えば、上記従来例で説明したX線露光装置においてシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置及び角度が変位すると、シンクロトロン放射光源点2の位置及び光源2の接線方向へ放射されるシンクロトロン放射光3の光軸4の方向も変化する。その結果、X線反射ミラー5へのシンクロトロン放射光3の入射角度が変化し、その集光条件が変化するため、露光面上8の照射領域9の形状が変形する。したがって、X線反射ミラー5の揺動速度の固定化された制御パターンでは、電子ビーム軌道1が変化する」と露光X線強度を均一に補正できなくなるという問題があった。

【0005】この問題を解決するために、まず、電子ビーム軌道1の変位量を計測するシステムをストレージリングに沿って配置し、これらの計測データを使って、変位した電子ビーム軌道1を補正する手法がある。計測システムとしては、ストレージリングの直線部には、例えば雑誌(OH0 86 高エネルギー加速セミナーテキスト 2-20頁～36頁)に掲載された図31に示すようなボタン型静電誘導ビーム位置検出器等を配置し、上記直線部での電子ビーム軌道1の位置変化を計測していた。例えば、図32にその計測システムの1例を示すが、図において、11はボタン型静電誘導ビーム位置検出器等の電子ビーム位置検出器12の情報をもとに、制御用計算機13により励磁電流が制御される電子ビーム軌道補正用のステアリング電磁石である。このようなストレージリング内の電子ビームの軌道位置の計測データに基づき軌道を補正する手法が用いられていた。

【0006】ここで、図31に示すボタン型静電誘導ビーム位置検出器の動作原理について説明する。図において、14はアルミナセラミックス製のビームダクト、15A～15Dはボタン型電極である。電子ビームはこの内部を通過する。電子ビーム軌道がx方向、y方向に Δx 、 Δy 変位した時、上記の4個の電極に誘起される静電誘導電荷によりそれぞれの電極における出力電圧が変化する。その値をそれぞれVA、VB、VC、VDとすると電子ビーム軌道の変位量は、次式によって与えられる。

$$k_1 \Delta x = (VA - VB - VC + VD) / (VA + VB + VC + VD)$$

$$k_2 \Delta y = (VA + VB - VC - VD) / (VA + VB + VC + VD)$$

ここで、 k_1 、 k_2 は、位置感度係数で、ボタン電極の形状、位置関係、ストレージリングのビームダクト形状に依存するが、予め模擬電子ビームによりビーム位置検出器は校正され、 k_1 、 k_2 の値が決定する。

【0007】一方、偏向電磁石部には、X線反射ミラー等のX線光学系を持たないシンクロトン放射光（あるいはX線）計測用ビームラインを設置し、例えば雑誌

（OH0■86 高エネルギー加速器セミナーテキスト 3-12頁～24頁）に掲載された図33に示すような2ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器、あるいは図35に示すような2分割イオン・チャンバ型X線ビーム位置検出器を配置して、上記ビームラインを通過するシンクロトン放射光の軟X線～VUV光の波長領域を利用してシンクロトン放射光の中心位置の変位を計測し、この計測値を上記シンクロトン放射光計測用ビームラインのシンクロトン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置変位量とみなしていた。一方、これらの計測システムを使った、電子ビーム軌道補正法の例として、例えば雑誌（Review Science Instrument 601989 1507頁～1512頁）に説明されているものがある。この例では、ストレージリングに沿って、上記ボタン型静電誘導ビーム位置モニター等を45箇所に配置し、上記シンクロトン放射光計測用ビームラインを2箇所に配置し、さらに65箇所に電子ビーム軌道補正用のステアリング電磁石を配置し、例えば雑誌（OH0■88 高エネルギー加速器セミナーテキスト 3-1頁～18頁）に説明されているような電子ビーム軌道の補正法、例えばベスト・コレクタ法、フーリエ解析による方法、ローカル・バンプ法等によって上記各ステアリング電磁石の最適な励磁電流値を見つけ出し、電子ビーム軌道を補正している。図36にこの例での電子ビーム軌道補正のフィードバックシステムの概略図を示す。露光装置へのビームラインとは別に計測用ビームラインを設け、これにより電子ビーム軌道を補正するため、多大な費用を要するが、このようなフィードバックシステムを備えたストレージリングからのシンクロトン放射光をX線源とするX線露光装置では電子ビーム軌道の変動の影響をある程度、受けにくくなり、比較的安定した露光X線を露光面に供給することができる。

【0008】X線ビーム位置検出器の動作原理について説明する。まず、図33に示す2ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器において、16はアノード電極、17、18はタングステンでできた、太さ $100\mu\text{m}$ 程度の水平方向に張ったワイヤである。タングステンからの光電子放出イールドは、 $400\sim 1000\text{\AA}$ の波長域で大きくなる。そこで、シンクロトン放射光の軟X線～VUV領域の成分を、上下のタングステンワイヤ17、18と交差させ、これにより発生する光電子電流 I_1 、 I_2 とすると、シンクロトン放射光の中心位置の垂直方向の変位 Δy は、上記光電子電流から、

$$\eta = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$$

とおくと η と Δy には図34の関係が成り立つ。図において、横軸は Δy 、縦軸は η である。定常状態のシンクロトン放射光に対して、上記2ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器をステッピングパルスモータ等による駆動機構で上下に移動させ、光電子電流 I_1 、 I_2 を測定する。これによって上記曲線を予め求めておき、これを校正曲線とすることで、X線ビームの位置が検出できる。

【0009】次に、図35に示す2分割イオン・チャンバ型X線ビーム位置検出器について説明する。図において、19はイオン・チャンバで中に希ガス、例えばヘリウムガスが封入されている。20はアノード電極、21、22はイオン・チャンバの集電極を対角線で2分割した上下の三角電極である。シンクロトン放射光がイオン・チャンバを通過するとアノード19と三角電極21、22間で上記封入ガス、例えば、ヘリウムガスのイオン対が生成され、三角電極21、22にイオンが収集されることによって出力されるイオン電流を2分割三角電極21、22について測定し、それぞれの電極で検出されたイオン電流 I_1 、 I_2 から、上記2ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器と同じく、 η を求め、 η とシンクロトン放射光の中心位置の垂直方向の変位 Δy と間に成り立つ校正曲線から Δy が求められる。校正曲線は、定常状態のシンクロトン放射光に対して、上記2分割イオン・チャンバ型X線ビーム位置検出器をステッピングパルスモータ等による駆動機構で上下に移動させ、イオン電流 I_1 、 I_2 を測定することによって得られる。

【0010】次に、図36示す電子ビーム軌道補正のフィードバックシステムについて説明する。図において、12はストレージリングの直線部に配置した45個のボタン型静電誘導ビーム位置検出器の中の1個を示し、23は偏向電磁石部の2箇所に設置したシンクロトン放射光計測用ビームラインに配置した例えば2ワイヤ光電子放出型等のX線ビーム位置検出器、或は2分割イオン・チャンバ型X線ビーム位置検出器の1個を示し、11は65箇所に配置した電子ビーム軌道補正用のステアリング電磁石の1個を示している。13は制御用計算機であり、上記ボタン型静電誘導位置検出器で計測した電子ビーム軌道の位置変位及びシンクロトン放射光の中心位置の変位データを使って、一般的な電子ビーム軌道補正法、例えば、ベスト・コレクタ法、フーリエ解析による方法、ローカル・バンプ法等の電子ビーム軌道補正法によって、全てのステアリング電磁石に対して、最適な励磁電流値を計算し、ステアリング電磁石を制御し、電子ビーム軌道の補正を行なうものである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来のX線露光装置は以上のように構成されているが、X線光源となるストレージリングとして、設置スペースの制約を受ける半導体製造ラインに導入できる、リング周長が10m足らずの超

電導小型ストレージリングを想定した場合、例えば、雑誌(Review Science Instrument Vol.63 No.1 1992 第770頁～第773頁)に説明されているように、超電導偏向電磁石による偏光角度は 180° と大きく、そのため超電導偏向電磁石が全周長の4割近くも占有し、残りの直線部の大部分を4極電磁石、6極電磁石、インフレクター、セプトム電磁石、ステアリング電磁石、高周波加速空洞、DCC T等のストレージリングの基本構成デバイスで占有してしまうため、ボタン型静電誘導ビーム位置検出器等はせいぜい数箇所しか配置できない。一方、ストレージリングにおける電子ビーム軌道補正は、電子ビーム軌道の位置変位を計測する箇所が多い程、その精度は向上する。しかし、上記のような超電導小型ストレージリングにおいて、直線を形成するするのが難しくたとえ直線部を形成できたとしても、上記のような理由で限られた数のボタン型静電誘導ビーム位置検出器による電子ビーム軌道変位データだけを使って、電子ビーム軌道補正を行なっても、偏光角度の大きい超電導偏向電磁石内のシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1を必ずしも、確実に、そして正確に補正できるとは限らない。即ち、直線部の数カ所の位置における電子ビーム軌道1の変位をゼロにするように電子ビーム軌道1を補正しても、X線露光装置のシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1が変位がゼロにならず、露光X線の特性、例えば、露光面上の照射領域の形状及び位置、露光X線強度、露光面上への露光X線の入射角度分布等が変位してしまう。この露光X線の変位は、転写されるレジストパターン形状及び寸法の変動、重ね合わせ誤差の増大等が生じ、転写プロセスが不安定になる。特に、超電導小型ストレージリングに複数個のX線露光装置を設置している場合は、露光装置に対応する全ての光源に対して電子ビーム軌道補正をしなければならないため、上記の電子ビーム軌道1の補正は個々の光源に対してますます不確実な、誤差を多く含んだものとなっていた。すなわち、シンクロトロン放射光3がシンクロトロン放射光源2から軌道の接線方向に放射されることを考慮すると光源点での電子ビーム軌道の位置と角度を確実に補正する必要がある。

【0012】また、露光用のビームラインとは別に超電導偏向電磁石に設置するシンクロトロン放射光計測用ビームラインを設け、これを使用した従来のシンクロトロン放射光の中心位置の計測法では、以下のような問題がある。図37に電子ビームの位置変位とシンクロトロン放射光の位置変位の関係を示した図である。図37に示されるように、電子ビーム軌道1に角度変位がある場合、電子ビーム軌道1の位置変位をシンクロトロン放射光3の中心位置の変位で正確に表わすことができなくなる。即ち、X線ビーム位置検出で計測した、シンクロトロン放射光3の中心位置の変位量 Δy と電子ビーム軌道1の位置変位 ΔY の間には、

$$\Delta y = \Delta Y + \Delta Y \blacksquare \times L$$

の関係がある。ここで、 $\Delta Y \blacksquare$ は電子ビーム軌道の角度変位、 L はシンクロトロン放射光源とX線ビーム位置検出器間の距離である。これによると、電子ビーム軌道の角度変位による不確実性 $\Delta Y \blacksquare \times L$ が含まれることになる。しかし、この従来の計測方法では角度変位 $\Delta Y \blacksquare \times L$ を分別することができず、すなわち角度変位を考慮した補正が難しいものとなっていた。

【0013】以上のように特に超電導小型ストレージリングからのシンクロトロン放射光源をX線源とする従来のX線露光装置では、シンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の補正を正確に且つ確実に制御することができず、電子ビーム軌道1が様々な外的要因によって変動した場合、露光面8に安定した露光X線を供給することができないという問題点があった。さらに、X線を反射・成形するためのX線反射ミラーは、従来例で使用した円筒型ミラーの他、回転槽円体面型、平面型等多様な面形状のものが使用されており、いずれの型にも特徴があり用途に応じて使い分けられている。そのため、露光面8に安定した露光X線を供給する際、多様なミラー形状の各々に対応して、光源2でのX線の放射位置及びその光軸4に対する安定性、制御性が要求される。

【0014】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、シンクロトロン放射光を露光用のX線に成形し、所望の露光面までX線を導くX線露光装置において、ビームラインのX線光学系自体にシンクロトロン放射光源点で出射されるX線の位置変位及びその光軸の角度変位を、すなわち光源点での電子ビーム軌道の位置変位、角度変位を計測する機能を備えて、この計測結果に基づいてストレージリングに配置したビーム位置検出器による電子ビーム軌道の位置変位データと併せて、電子ビーム軌道の補正を行なうことによって、X線露光装置のシンクロトロン放射光源点での電子ビーム軌道を確実にそして正確に補正し、電子ビーム軌道が様々な外的要因によって変動した場合でも、露光面に安定した露光X線を供給することができるX線露光装置を得ることを目的とする。

【0015】また、X線露光装置のX線光学系に揺動機構を有するX線反射ミラーを配置することにより、露光フィールド全体に安定した露光X線を供給することができるX線露光装置を得ることを目的とする。

【0016】また、X線露光装置のX線光学系に配置されたX線反射ミラーを、光源点での電子ビーム軌道の位置変位、角度変位のデータあるいは、露光面でのX線の位置変位、角度変位のデータにより駆動制御する機構を設け、露光面に安定した露光X線を供給することができるX線露光装置を得ることを目的とする。

【0017】また、X線露光装置のビームラインとは別にX線計測用ビームラインを設けてストレージリング内の電子ビームの軌道を補正する場合においても、X線計

測用ビームラインにシンクロトロン放射光の位置及び角度変位を測定する機能を設けることにより、ストレージリング内の電子ビームの軌道を精度よく補正し、露光面に安定した露光X線を供給することができるX線露光装置を得ることを目的とする。さらに、X線露光装置のX線光学系に配置されたX線反射ミラーを、光源点での電子ビーム軌道の位置変位、角度変位のデータあるいは、X線計測用ビームラインにおける計測結果により駆動制御する機構を設け、露光面に安定した露光X線を供給することができるX線露光装置を得ることを目的とする。

【0018】また、多様な種類のX線反射ミラーにより成形された多種のビームに対しても、電子ビーム軌道の位置変位、角度変位を計測ができるような計測器を配置したX線露光装置を得ることを目的とする。

【0019】さらに、上記のような電子ビーム軌道の位置変位、角度変位を計測ができるような計測器をX線光学系内あるいは専用のX線計測ビームラインに配置したり、駆動制御可能なX線反射ミラーを配置したX線露光装置を用いて、従来のストレージリングに設けられた電子ビーム軌道位置検出器の計測結果にX線光学系での電子ビーム軌道の位置変位、角度変位の計測結果を併せて、電子ビーム軌道を補正したり、これらの計測データをもとにX線光学系に配置したX線反射ミラーを駆動制御することにより、高精度に位置および角度が制御されたX線をX線露光装置に導く方法を提供することを目的とする。また、これら計測データに、露光面上でのX線の位置変位、角度変位等の計測データを併せて、X線反射ミラーを駆動制御することにより、さらにX線露光装置の精度を向上させることを目的とするものである。

【0020】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係るX線露光装置は、ストレージリングに配置された複数の電磁石により軌道を制御される電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第1の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第1のX線、該X線を少なくとも1枚以上のX線反射ミラーにより成形してマスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写するための第1のX線光学系を備えたX線露光装置において、前記第1のX線光学系にストレージリングの第1の光源より出射される第1のX線の第1の光源における位置又は光軸の角度を計測する手段を備えたものである。

【0021】請求項2の発明に係るX線露光装置は、請求項1において、前記第1のX線光学系とは別に、前記電子ビームにより励起され第2の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第2のX線、該第2のX線を少なくとも1枚以上のX線反射ミラーにより成形してマスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写するための第2のX線光学系を有するX線露光部を備えたものである。

【0022】請求項3の発明に係るX線露光装置は、請求項2において、前記第1のX線光学系に配置されたX線反射ミラーのX線の入射側の第1の焦点距離がX線の反射される側の第2の焦点距離より小さいことを規定したものである。

【0023】請求項4の発明に係るX線露光装置は、請求項1又は請求項2において、X線光学系に設けられた光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段が光源より出射されたX線の第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点に配置されたことを規定するものである。

【0024】請求項5の発明に係るX線露光装置は、請求項4において、第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点位置が水平方向と垂直方向で一致する曲面形状を有するX線反射ミラーであることを規定するものである。

【0025】請求項6の発明に係るX線露光装置は、請求項5において、第1のX線反射ミラーの曲面形状が回転楕円体面又はトロイダル面であることを規定するものである。

【0026】請求項7の発明に係るX線露光装置は、請求項4において、第1のX線反射ミラーによって結ばれた焦点位置が水平方向と垂直方向で異なる曲面形状を有するX線反射ミラーであることを規定するものである。

【0027】請求項8の発明に係るX線露光装置は、請求項7において、第1のX線反射ミラーの曲面形状が水平方向と垂直方向の焦点距離の異なるトロイダル面であることを規定したものである。

【0028】請求項9の発明に係るX線露光装置は、請求項5～8において、第1のX線反射ミラーにより反射されたX線をX線マスク上でコリメートするための第2のX線反射ミラーとして、曲面形状が回転楕円体面、トロイダル面又は回転放物面を有するミラーを備えたことを規定したものである。

【0029】請求項10の発明に係るX線露光装置は、請求項9において、第2のX線反射ミラーとX線マスクとの間に揺動機構を有する平面ミラーを配置したことを規定したものである。

【0030】請求項11の発明に係るX線露光装置は、請求項4において、光源と第1のX線反射ミラーとの間に光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段をさらに備えたものである。

【0031】請求項12の発明に係るX線露光装置は、請求項11において、光源と第1のX線反射ミラーとの間に配置された光源より出射されるX線の位置又は光軸の角度を計測する手段の近傍にイオン捕獲電極を備えたものである。

【0032】請求項13の発明に係るX線露光装置は、請求項1又は請求項2において、第1のX線反射ミラーと前記第2のX線反射ミラー又は前記第2のX線光学系

に配置した X 線反射ミラーを独立に駆動制御する機構を備えたこと規定したものである。

【0033】請求項 14 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 4 において、光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、駆動機構を備えた蛍光板であることを規定したものである。

【0034】請求項 15 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 4 又は請求項 11 において、光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、X 線のビームサイズにより制御されたワイヤ間距離を有するワイヤ光電子放出型 X 線ビーム位置検出器であることを規定したものである。

【0035】請求項 16 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 4 又は請求項 11 において、光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、複数の半導体光検出器であることを規定したものである。

【0036】請求項 17 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 16 において、半導体光検出器の前面に可視光を遮断するフィルタを配置することを規定したものである。

【0037】請求項 18 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 11 において、光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段が、2 分割光電子放出三角板電極型 X 線ビーム位置検出器であることを規定したものである。

【0038】請求項 19 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 17 において、2 分割光電子放出三角板電極型 X 線ビーム位置検出器の 2 分割三角板電極に X 線が斜めに照射するように、該 X 線ビーム位置検出器を配置したことを規定したものである。

【0039】請求項 20 の発明に係る X 線露光装置は、請求項 14 又は請求項 19 において、光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段の前面に数 10 Å より長波長の光を遮断するフィルタを配置することを規定したものである。

【0040】請求項 21 の発明に係る X 線露光方法は、ストレーシングに配置された複数の電磁石により軌道を制御される電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第 1 の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する X 線、該 X 線を少なくとも 1 枚以上の X 線反射ミラーにより成形するための X 線光学系、該 X 線光学系に配置した前記光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段を備えた X 線露光装置を用いて、マスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写する X 線露光方法において、ストレーシングにおける電子ビームの軌道位置を計測する第 1 のステップと、前記 X 線反射ミラーの焦点に配置した計測手段により前記光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する第 2 のステップと、前記第 2 のステップにおいて得られた光源での X 線の位置変位又は

光軸の角度変位を特定の値と比較する第 3 のステップと、前記第 3 のステップで光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断された場合第 1 及び第 2 のステップにより得た情報をもとにストレーシングに配置された複数の電磁石を用いて光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第 4 のステップと、前記第 3 のステップで光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断されなかった場合又は前記第 4 のステップで光源での X 線の位置変位及び光軸の角度変位が最小に設定された後その X 線を用いてマスク上に形成されたパターンをウエハ上に転写し露光する第 5 のステップとを含むものである。

【0041】請求項 22 の発明に係る X 線露光方法は、請求項 21 において、X 線反射ミラーと光源との間に配置した計測手段により前記光源より出射される X 線の位置又は光軸の角度を計測する第 6 のステップを前記第 2 と第 3 のステップの間に配置し、前記光源の位置変位及び角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第 4 のステップにおいて、前記第 1、第 2 及び第 6 のステップにより得た情報をもとにストレーシングに配置された複数の電磁石を用いて光源の位置変位及び角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御することを規定したものである。

【0042】請求項 23 の発明に係る X 線露光方法は、請求項 21 及び請求項 22 において、第 1、第 2 又は第 6 のステップにより得た情報をもとに前記 X 線光学系に配置した少なくとも 1 つ以上の X 線反射ミラーをウエハ上での X 線の変位量が最小となるように駆動制御する第 7 のステップを前記第 5 のステップの前に配置したことを規定したものである。

【0043】請求項 24 の発明に係る X 線露光方法は、ストレーシングに配置された複数の電磁石により軌道を制御される電子ビームの軌道位置を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第 1 の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第 1 の X 線、該第 1 の X 線を少なくとも 1 枚以上の X 線反射ミラーにより成形するための X 線光学系、該 X 線光学系に設けられ放射された第 1 の X 線の位置又は光軸の角度を計測する手段、前記電子ビームにより励起され第 2 の光源より放射され光軸を中心として発散角を有する第 2 の X 線、該第 2 の X 線を少なくとも 1 枚以上の X 線反射ミラーにより成形して露光領域まで X 線を導く第 2 の X 線光学系とを備えた X 線露光装置を用いて、マスク上に形成されたパターンをウエハ上に露光し転写する X 線露光方法において、ストレーシングにおける電子ビームの軌道位置を計測する第 1 のステップと、前記第 1 の X 線光学系において第 1 の X 線の第 1 の光源における位置又は光軸の角度を計測する第 2 のステップと、前記第 2 のステップにおいて得られた第 1 の光源での X 線の位置変位又は光軸の角度

変位を特定の値と比較する第3のステップと、前記第3のステップで第1の光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断された場合前記第1及び第2のステップにより得た情報をもとにストレージリングに配置された複数の電磁石を用いて第1の光源でのX線の位置変位及び光軸の角度変位が最小になるように電子ビームの軌道を制御する第4のステップと、前記第3のステップで第1の光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位が特定の値より大きいと判断されなかった場合又は前記第4のステップで第1の光源でのX線の位置変位及び光軸の角度変位が最小に設定された後その制御された軌道を有する電子ビームの第2の光源から放射された第2のX線を用いてマスク上に形成されたパターンをウエハ上に転写し露光する第5のステップとを含むものである。

【0044】請求項25の発明に係るX線露光方法は、請求項24において、第1又は第2のステップにより得た情報をもとに第2のX線光学系に配置したX線反射ミラーをウエハ上に到達するX線の変位量が最小となるように駆動制御する第6のステップを、前記第5のステップの前に配置したことを規定したものである。

【0045】請求項26の発明に係るX線露光方法は、請求項21～25において、前記光源でのX線の位置変位及び光軸の角度変位が最小となるように電子ビームの軌道を制御するステップにおいて、予め用意した前記電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることを規定したものである。

【0046】

【作用】この発明の請求項1に係るX線露光装置は、X線露光装置において、X線光学系自身にX線ビーム位置検出器を配置したので、検出器の位置でのX線ビームの変位量の計測データからシンクロトロン放射光源点の位置変位、すなわち光源点での電子ビーム軌道の位置変位量を算出し、この位置変位データと、ストレージリングの複数の箇所に配置した電子ビーム位置モニターで測定した電子ビーム軌道の位置変位量の両測定値で、シンクロトロン放射光源点での電子ビームの位置変位が最小になるような電子ビーム軌道の補正条件を計算することができ、この計算値に基づいて、ストレージリング内に配置した複数のステアリング電磁石を制御したので、精度の高い電子ビーム軌道補正を実現する。

【0047】この発明の請求項2に係るX線露光装置は、X線露光のためのビームラインと光源から放射されるX線の位置および変位を計測するX線ビーム位置検出器を配置したX線計測用のビームラインとを別に設けたので、X線計測用のビームラインで得た情報に基づき電子ビーム軌道を制御し、露光工程を乱すことなく概ね放射位置と方向の制御されたX線を用いて露光することができる。また、露光のためのビームラインに焦点を持た

ない、例えば、平面ミラー等のX線反射ミラーを用いることが可能となる。

【0048】この発明の請求項3に係るX線露光装置は、請求項2において、X線計測ビームラインに配置したX線反射ミラーのX線の入射側の焦点距離を反射側の焦点距離より小さく設定したので、入射側の変位が反射側に大きく敏感に現れるため、反射側の焦点でのX線の位置計測の精度が向上する。

【0049】この発明の請求項4に係るX線露光装置は、請求項1又は請求項2において、X線ビーム位置検出器を第1のX線反射ミラーの焦点に配置したので、この位置におけるX線ビームの変位量の計測データから対向する焦点に位置する光源での電子ビーム軌道の位置変位量が容易に算出できる。

【0050】この発明の請求項5に係るX線露光装置は、請求項4において、第1のX線反射ミラーの焦点が水平方向と垂直方向で一致しているので、1つのX線ビーム位置検出器で、水平方向と垂直方向の変位量を算出できる。

【0051】この発明の請求項6に係るX線露光装置は、請求項5において、第1のX線反射ミラーの曲面形状が回転楕円体面又はトロイダル面であるため、対向する焦点に配置するシンクロトロン放射光源点の位置が変位した場合、光軸方向の角度変位にほとんど依存することなく、位置検出器の配置した焦点での集光X線ビームの中心位置の変位に一義的に現れるので、この相関関係を使うことによって、位置検出器での集光X線ビームの中心位置の変位量からシンクロトロン放射光源の位置変位、即ちこの点での電子ビーム軌道の位置変位量を精度よく算出できる。

【0052】この発明の請求項7に係るX線露光装置は、請求項4において、第1のX線反射ミラーの焦点が水平方向と垂直方向で異なるので、それぞれの焦点位置にそれぞれX線ビームの水平方向或は垂直方向の位置を測定するX線ビーム位置検出器を配置することにより、上記の2箇所の焦点位置での集光X線ビームの中心位置の水平方向、垂直方向の変位の計測データからシンクロトロン放射光源点での電子ビーム軌道の位置変位を精度よく計測することができる。

【0053】この発明の請求項8に係るX線露光装置は、請求項7において、第1のX線反射ミラーの曲面形状が水平方向と垂直方向で焦点距離の異なるトロイダル面を用いたので、シンクロトロン放射光源点での電子ビーム軌道の水平方向或は垂直方向の位置変位が、その角度変位にほとんど依存することなく、上記第1段X線反射ミラーの水平方向、垂直方向のそれぞれの焦点での集光X線ビームの中心位置の水平方向、垂直方向の変位に一義的に現れるので、この相関関係を使うことによって、位置検出器での集光X線ビームの中心位置の変位量からシンクロトロン放射光源の位置変位、即ちこの点で

の電子ビーム軌道の位置変位量を精度よく算出できる。

【0054】この発明の請求項9に係るX線露光装置は、請求項5～8において、第2のX線反射ミラーとして曲面形状が回転楕円体面、トロイダル面又は回転放物面であるため、第1のX線反射ミラーの焦点に集光したX線ビームを露光面にほぼ平行光に成形して照射することができる。

【0055】この発明の請求項10に係るX線露光装置は、請求項9において、第2のX線ミラーとX線マスクの間に揺動機構を有する平面ミラーを配置したので、露光面上でX線を垂直方向に照射させ、且つ掃引させることができるので露光の全領域へ制御よくX線を照射できる。

【0056】この発明の請求項11に係るX線露光装置は、請求項4において、光源と第1のX線反射ミラーとの間に、X線ビーム位置検出器をさらに配置したので、X線ビームの成形前の位置を計測することで、特に角度変位を算出することが可能となり、位置変位と併せて、電子ビームの軌道補正の精度が向上する。また、水平方向、垂直方向に広がるシンクロトロン放射光のうち第1のX線反射ミラーに入射しないシンクロトロン放射光を取り込むことによって、露光X線に影響を与えることなく、第1のX線反射ミラーの上流側でのシンクロトロン放射光の中心位置の変位量を計測し、この計測値と上記第1のX線反射ミラーの焦点に配置されたX線ビーム位置検出器で計測された位置変位量を使って、上記電子ビーム軌道の角度変位量を算出し、これによる電子ビーム軌道の補正で、シンクロトロン光源点の位置及び光軸方向を安定させることができる。

【0057】この発明の請求項12に係るX線露光装置は、請求項11において、光源と第1のX線反射ミラーとの間に配置したX線ビーム位置検出器の近傍に、イオン捕獲電極を備えたので、X線が第1のX線反射ミラーに照射されることによってX線反射ミラーの表面から発生する光脱離イオンをトラップすることができ、光脱離イオンの影響でX線ビーム位置検出器で生じるノイズ等が除去され、精度の高い角度変位測定が可能となる。

【0058】この発明の請求項13に係るX線露光装置は、請求項1又は請求項2において、第1のX線光学系に配置した第1のX線反射ミラーと第2のX線反射ミラー又は第2のX線光学系に配置したX線反射ミラーを独立に駆動制御する機構を設けたので、電子ビーム軌道補正で正確に補正できないずれに対して、補正することが可能となる。また、計測されたシンクロトロン放射光源点の位置変位量から、露光面に入射する露光X線の特性変化、例えばウエハ上の照射領域の形状及び位置、露光X線強度、露光X線の入射角度分布等の変位量が最小になるように第1のX線光学系に配置した第1および第2のX線反射ミラー又は第2のX線光学系に配置したX線反射ミラーの位置、方向の補正値を算出し、上記それぞ

れのミラーの駆動機構によって、X線反射ミラーの位置、方向を補正し、シンクロトロン放射光源点の位置変位及び光軸方向の角度変位の露光X線の特性に与える影響を最小にすることができる。

【0059】この発明の請求項14に係るX線露光装置は、請求項4において、X線ビーム位置検出器として、駆動機構を備えた蛍光板を用いたので、露光前又は後に蛍光板を所定の位置に配置し、蛍光面上に配置した適当な間隔、例えば1mm間隔等のメッシュによって集光X線ビームの中心位置の変位を計測し、シンクロトロン放射光源での電子ビーム軌道の位置変位を計測することができる。

【0060】この発明の請求項15に係るX線露光装置は、請求項4又は請求項11において、X線ビーム位置検出器として、X線のビームサイズにより制御されたワイヤ間距離を有するワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器を用いたので、露光工程中での集光X線ビームの中心位置の変位を計測することができ、リアルタイムにシンクロトロン放射光源での電子ビーム軌道の位置変位をモニタすることができる。従って、この計測結果を元にリアルタイムに電子ビーム軌道を制御位可能となる。また、請求項4において、第1のX線反射ミラーの焦点に配置した場合、焦点位置における集光ビームのビームサイズ、特にシンクロトロン放射光の中で露光波長となる5～12Åの波長帯域のX線は、2mm以下程度のビーム径になる。一方、上記2ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器は、そのタングステンワイヤから光電子放出のイールドが大きくなる400～1000Åの軟X線～VUV光がタングステンワイヤと交差するように配置して、発生する光電子電流を測定するのが感度的に有利である。この波長域のシンクロトロン放射光の発散角は、上記5～12Åの波長帯域のX線に比べてきわめてに大きいため、上記第2焦点位置での集光ビーム径は、上記2mmの径に比べてはるかに大きい。したがって、水平方向或は垂直方向に張る各々2本のタングステンワイヤ間の距離をX線の集光ビーム径よりも大きく設定することにより高感度の測定が可能となる。また、請求項11において、光源と第1のX線反射ミラーとの間に配置した場合、水平方向に張った2本のワイヤ間の距離を露光波長域でのシンクロトロン放射光の垂直方向の幅よりも大きく設定し、垂直方向に張った2本のワイヤ間の距離を第1のX線反射ミラーに入射する露光波長域でのシンクロトロン放射光の水平方向の幅よりも大きく設定することで、上記と同様に高感度の測定が可能となる。

【0061】この発明の請求項16に係るX線露光装置は、請求項4又は請求項11において、X線ビーム位置検出器として、複数の半導体光検出器を配置したので、請求項4においては、この半導体光検出器の配置間隔を焦点位置における、露光波長である5～12Åの波長帯域の集光X線ビームのビームサイズ（大きくても2mm

m) よりも大きい距離に設定して軟X線～VUV光を受光して発生する電流を計測することにより、露光X線に影響を与えることなく、露光工程中に集光X線ビームの中心位置の変位を計測することができ、リアルタイムにシンクロトン放射光源点での電子ビーム軌道の位置変位を計測することができる。従って、この計測結果に基づきリアルタイムに電子ビーム軌道を制御できる。また、請求項11においても同様で、複数の半導体光検出器を垂直方向の間隔を露光波長域でのシンクロトン放射光の垂直方向の幅よりも大きく設定し、水平方向の間隔を第1のX線反射ミラーに入射する露光波長域でのシンクロトン放射光の水平方向の幅よりも適当に大きく設定することにより、配置した場所での電子ビームの位置変位を計測することができ、焦点に配置した検出器による計測結果と併せて、角度変位を算出できる。

【0062】この発明の請求項17に係るX線露光装置は、請求項16において、半導体検出器の前面に可視光を遮断するフィルタを配置したので、例えばビームラインダクト壁を反射する可視光を遮断し、上記波長域の軟X線のみを受光することができる。

【0063】この発明の請求項18に係るX線露光装置は、請求項11において、X線ビーム位置検出器として2分割光電子放出三角電極型のX線ビーム位置検出器を用いたので、シンクロトン放射光が入射することによって2分割された上下の三角電極からの光電子電流をそれぞれ測定し、その電流値からシンクロトン放射光の中心位置の変位、角度変位を計測することができる。また、希ガス雰囲気を要するイオン・チャンバ型ではないため、真空中にそのまま配置することができる。

【0064】この発明の請求項19に係るX線露光装置は、請求項18において、2分割光電子放出三角電極型のX線ビーム位置検出器にX線が斜めに入射するように該検出器を配置したので、シンクロトン放射光による三角電極への熱負荷を軽減する。

【0065】この発明の請求項20に係るX線露光装置は、請求項14又は請求項19において、X線ビーム位置検出器である蛍光板モニターや2分割光電子放出三角電極型のX線ビーム位置検出器の前面に、数10Å以上の長波長光を遮断するフィルターを備えたので、シンクロトン放射光の中で放射角度広りの大きい、数10Å以上の長波長域の成分を遮断する。

【0066】この発明の請求項21に係るX線露光方法は、ストレージリング内でのビーム位置検出器から得た電子軌道の位置と光源でのX線の放射位置の情報により光源での電子ビーム軌道位置および角度を補正したので、補正精度が向上し、安定したX線を露光されるウエハ面に照射できるようになる。

【0067】この発明の請求項22に係るX線露光方法は、請求項21において、光源でのX線の放射位置の情報に光軸の角度の情報も考慮したので、光源での電子ビ

ーム軌道の位置及び角度の補正精度がさらに向上する。

【0068】この発明の請求項23に係るX線露光方法は、請求項21又は請求項22において、X線を成形するためのX線反射ミラーをストレージリング内での電子軌道の位置と光源でのX線の放射位置及び光軸の角度の情報によりウエハ上でのX線の変位量が最小となるように駆動制御したので、露光されるウエハ面に到達するX線の制御性が向上する。

【0069】この発明の請求項24に係るX線露光方法は、ストレージリング内での電子軌道の位置とX線計測用ビームラインを用いて光源でのX線の放射位置の情報により光源での電子ビームの位置及び角度を補正したので、露光用ビームラインの光源でのX線の放射位置及び光軸の角度の補正精度が向上する。

【0070】この発明の請求項25に係るX線露光方法は、請求項24において、さらに、露光用ビームラインに配置したX線反射ミラーをウエハ上でのX線の変位量が最小となるように駆動制御したので、露光されるウエハ面に到達するX線の制御性が向上する。

【0071】この発明の請求項26に係るX線露光方法は、請求項21～25において、予めストレージリングに配設された電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることにより、光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位の計測結果から迅速に電磁石の制御条件を見いだすことが可能となる。

【0072】

【実施例】

実施例1. 以下、この発明の一実施例を図を用いて説明する。図1は、本発明の一実施例によるX線露光装置を示す全体構成図である。図において、24は集光特性を持つ第1のX線反射ミラー、25は第1のX線反射ミラー24の第1焦点、26は第2焦点である。第1のX線反射ミラー24を、その第1焦点25がシンクロトン放射光源点2と一致するように配置することによって、水平方向に大きな発散角、垂直方向には小さな発散角を持って放射するシンクロトン放射光3は第2焦点26にビーム径2mm程度のX線ビームとなって集光する特性を持つ。27は第2のX線反射ミラーであり、第1のX線反射ミラー24の第2焦点26に集光したX線ビームを露光面7にコリメートした露光X線として照射する反射特性を持つ。23は第1のX線反射ミラー24の第2焦点26に配置するX線ビーム位置検出器であり、上記の集光X線ビームの中心位置の変位を計測する。また、ストレージリングの直線部の複数の箇所に図24の構成図に示したボタン電極静電誘導型ビーム位置検出器12等のビーム位置検出器を配置し、また電子ビーム軌道制御用のステアリング電磁石11を複数配置している。28は第1および第2のX線反射ミラー24、27をそれぞれ搭載し例えば6軸ゴニオメータ等の駆動機構であり、外部からの制御信号によって上記の2つ

のX線反射ミラーを独立してその位置、方向を補正できるものであり、13は制御用計算機である。

【0073】次に動作について説明する。第1のX線反射ミラー24の第1焦点位置25にあったシンクロトロン放射光源点2は、様々な外的要因、例えば、ストレージリングの周囲に配置してある各種の電源からの電磁ノイズ、冷却水の温度上昇、内外気温の変化による、ストレージリング本体及び建屋の歪み、地殻変動等による変位によって、電子ビーム軌道1が変位すると、その位置変位量だけ、変位する。このシンクロトロン放射光源点の位置変位は、第2焦点位置26での集光X線ビームの中心位置の変位に現われてくる。この時、第1のX線反射ミラー24の反射面の曲面形状として、電子ビーム軌道1の角度変位による光軸4方向の角度変位を生じた場合でも、その角度変位にほとんど依存することなく、シンクロトロン放射光源点2の位置変位が、第2焦点26での集光X線ビームの位置変位に一義的に現れるような集光特性を実現するもの、例えば回転楕円体面、トロイダル面を選ぶ。これにより、第2焦点位置26のX線ビーム位置検出器23によって計測する集光X線ビームの中心位置の変位からシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置変位を算出することができる。すなわち、第2焦点位置26での変位量で電子ビーム軌道1の位置変位をモニタすることができる。

【0074】次に露光までの手順について説明する。ストレージリングの直線部に配置した例えば、ボタン電極静電誘導型ビーム位置検出器等の電子ビーム位置検出器12の位置での電子ビーム軌道1の位置変位量を計測する。次に、上記方法でシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置変位量を焦点位置に配置したX線ビーム位置検出器23により計測する。この計測した変位量がパターン of 転写精度に対し許容できる範囲であればそのまま露光を開始し、電子ビーム軌道の補正の必要があれば、両者の測定値をもとにシンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置変位が最小になるように電子ビーム軌道1の補正条件を電子ビーム軌道の補正法により制御用計算機13を使って算出する。電子ビーム軌道の補正法としては、例えばベスト・コレクタ法、フーリエ解析による方法、ローカル・パンパ法等を用いる。さらに各ステアリング電磁石11に最適な励磁電流値を設定することによって電子ビーム軌道1を補正する。軌道が補正された後、光源の位置角度が最適化された条件で放出されたX線を用い、露光面8上に所望のパターンを転写する。このような電子軌道と光源の位置変位の情報を併用したフィードバックシステムを備えることによって、シンクロトロン光源点2の位置変位を常に最小にし、露光面8に安定した露光X線を供給することができる。以上の露光工程を図24に示す。図において、st i (iは整数)はi番目のステップ(工程)を示し、st3中のδは計測した変位量がパターン of 転写精度に対し許容で

きる範囲となる最大値を示す。

【0075】図24のステップ4において、電子ビームの軌道制御に、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位との関係に関する情報を用いることにより、制御が迅速に行うことが可能となる。このとき、ステップ1の電子ビームの軌道位置の計測結果を併用してもよいし、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位との関係に関する情報といずれかの選択して制御に用いてもよい。また、これら計測と制御は露光中常時実施されることにより、転写精度が向上することはいうまでもない。

【0076】一方、上記のような補正により、露光X線の特性変化、例えば露光面上の照射領域の形状及び位置、露光X線強度、露光面上への露光X線の入射角度分布等の変位は最小に抑えられるが、第1および第2のX線反射ミラー24、27の位置、方向の補正値を光線追跡法等によって制御用計算機13を使って計算し、その情報からミラーステージに備えた6軸ゴニオメータ等の駆動機構28を制御し、上記の2枚のX線反射ミラーの位置、方向を補正する。これにより、さらに露光面8に安定した露光X線を供給することもできる。このX線反射ミラーの駆動制御を含んだX線露光工程を図26に示す。

【0077】次に、使用するX線反射ミラーについて説明する。図2は、第1のX線反射ミラー24として回転楕円体面を用いた場合の、回転楕円体面の曲面形状の説明図である。以下に、2つの焦点の変位の関係について説明する。回転楕円体面の曲面形状は、図2の座標系を用いると次式の関数形によって記述される。

$$\xi^2/A^2 + \eta^2/B^2 + \nu^2/B^2 = 1$$

$$A = (d_1 + d_2) / 2$$

$$B = A \sqrt{1 - e_1^2}$$

ここで、 e_1 は離心率を表わし、

$$e_1 = \sqrt{[(d_1 + d_2)^2 - 4d_1d_2\cos^2\psi_1] / (2A)}$$

となる。図3に、この回転楕円体面の一部とその面に設けられた直交座標系(x, y, z)を示す。上記関数形を座標系(x, y, z)で展開すると次式のようになる。

$$F(x, y, z) = x^2 \cdot (\cos^2\psi_1/B^2) + y^2/B^2 + z^2 \cdot (\sin^2\psi_1/B^2 + 1/A^2) - z \cdot (4f\cos\psi_1/B^2) - zx \cdot [\sqrt{(e_1^2 - \sin^2\psi_1)} \times 2\sin\psi_1/B^2] = 0$$

$$\text{ここで、} f \text{は、} f = (1/d_1 + 1/d_2)^{-1}$$

である。一方、図4は、第1のX線反射ミラー24の第2焦点位置26のX線ビームの中心位置の変位と電子ビーム軌道の位置変位の関係を示す図で、第1のX線反射ミラー24のパラメータを、それぞれ $d_1 = 2380\text{mm}$ 、 $d_2 = 3800\text{mm}$ 、 $\psi_1 = 88^\circ$ とし、ストレージリングの偏向電磁石の半径が0.59m、シンクロトロン放射光源点2での電子ビームのビームサイズが水平方向に $\sigma_x = 0.62\text{mm}$ 、 $\sigma_y = 0.67\text{mm}$ である場合において、シンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置、角度を垂直方向に適当

に変化させた時、第2焦点位置26での集光X線ビームの中心位置の垂直方向の変位を示したものである。図4で示されるように電子ビーム軌道1の位置変位と焦点位置24での集光X線ビームの中心位置の変位の間には線形関係があり、このことから電子ビーム軌道1の角度変位にはほとんど依存しないことがわかる。また、焦点位置26での集光X線ビームの中心位置の変位と電子ビーム軌道1の変位の比は、 d_2/d_1 に近い値を示していることがわかる。

【0078】次に、第1のX線反射ミラー24として、トロイダル面を用いた例について説明する。図5はトロイダル面の曲面形状の説明図であり、ミラー面上の座標系 (x, y, z) で展開すると次式のようなになる。

$$F(x, y, z) = [x^2 + y^2 + (z - R_1)^2 + (R_1 - \rho_1)^2 - \rho_1^2]^2 - 4(R_1 - \rho_1)^2[x^2 + (z - R_1)^2] = 0$$

ここで、 R_1 、 ρ_1 はそれぞれメリディアン（光軸方向）、サジタル（光軸に対して垂直方向）方向の曲率半径である。水平方向、垂直方向の焦点が一致するトロイダル面については、次式の関係式が成り立つ。

$$\rho_1/R_1 = \cos^2\psi_1$$

このようなトロイダル面を反射面とする第1のX線反射ミラーによるシンクロトロン放射光源点2の位置変位と第2焦点位置26での集光X線ビームの中心位置の変位の間には上記の回転楕円体面の場合と同じく、電子ビーム軌道1の角度変位にはほとんど依存しない線形関係が成り立つことがわかっており、さらに、焦点位置24での集光X線ビームの中心位置の変位と電子ビーム軌道1の変位の比も同じく、 d_2/d_1 に近い値を示す。従って、焦点位置26での集光X線ビームの中心位置の変位を計測することにより、光源での位置変位を算出可能となる。

【0079】次に、第2のX線反射ミラー26として回転楕円体面を用いた例について説明する。図6に回転楕円体面の曲面形状の説明図を示す。この曲面は次式の数式によって表わされる。

$$\xi^2/C^2 + \eta^2/D^2 + \nu^2/D^2 = 1$$

$$C = (d_3 + d_4) / 2$$

$$D = C \sqrt{1 - e_2^2}$$

ここで、 e_2 は離心率を表わし、

$$e_2 = \sqrt{[(d_3 + d_4)^2 - 4d_3d_4\cos^2\psi_2] / (2C)}$$

と記述される。また、この曲面の数式を図3に示すように曲面上の直交座標系 (x, y, z) で展開すると次式のようなになる。

$$F(x, y, z) = x^2 \cdot (\cos^2\psi_2/D^2) + y^2/D^2 + z^2 \cdot (\sin^2\psi_2/D^2 + 1/C^2) - z \cdot (4f\cos\psi_2/D^2) - zx \cdot [\sqrt{(e_2^2 - \sin^2\psi_2)} \times 2\sin\psi_2/D^2] = 0$$

$$f = (1/d_3 + 1/d_4)^{-1}$$

この回転楕円体面を反射面とする第2のX線反射ミラーにおいて主極点と第2焦点間の距離 d_4 を十分に大きく設定することによって、反射するX線ビームを近似的に

コリメートすることができる。

【0080】次に、第2のX線反射ミラー24の集光特性を実現する反射面の1つとして、トロイダル面を用いた例について説明する。図7はトロイダル面の曲面形状の説明図である。図中(a)はサジタル方向の断面図、図中(b)は上方からみた図である。このトロイダル面を用いた場合、面上の座標系 (x, y, z) で展開すると次式で記述される。

$$F(x, y, z) = [x^2 + y^2 + (z - R_1)^2 + (R_1 - \rho_1)^2 - \rho_1^2]^2 - 4(R_1 - \rho_1)^2[x^2 + (z - R_1)^2] = 0$$

ここで、 R_2 、 ρ_2 はそれぞれメリディアン、サジタル方向の曲率半径である。また水平方向、垂直方向の焦点との距離、 d_5 、 d_6 と $\{d_3, R_2, \rho_2, \psi_2\}$ の間には次式のような関係式が成り立つ。

$$(1/d_3 + 1/d_5) \times (1/2\cos\psi_2) = 1/\rho_2$$

$$(1/d_3 + 1/d_6) \times (\cos\psi_2/2) = 1/R_2$$

このトロイダル面を反射面とする第2のX線反射ミラーにおいて、 d_5 、 d_6 を十分に大きく設定することによって、反射するX線ビームを近似的にコリメートすることができる。

【0081】さらに、第2のX線反射ミラー27として、回転放物面を用いた例について説明する。図8は回転放物面の曲面形状の説明図である。この曲面は次式の数式によって表わされる。

$$\xi^2 + \nu^2 = 4A\eta$$

$$A = d_3\cos^2\psi_2$$

またこの曲面の数式を曲面上の座標系 (x, y, z) で展開すると次式のようなになる。

$$F(x, y, z) = x^2 \cdot \cos^2\psi_2 + y^2 + z^2 \cdot \sin^2\psi_2 - z \cdot 4A\sec\psi_2 - zx \cdot 2\sin\psi_2\cos\psi_2 = 0$$

この回転放物面を反射面とする第2のX線反射ミラーにより、X線ビームをコリメートすることができる。

【0082】次に、第1のX線反射ミラー24の第2焦点26の位置に配置するX線ビーム位置検出器の例として、駆動機構を備えた蛍光板を用いた場合について説明する。図9は、焦点位置に配置した蛍光板にX線が照射される様子を示したものである。図において、29は蛍光板で、例えば、X線を吸収すると赤色の蛍光を発光するアルミナセラミックス製の蛍光板等を用いる。30は蛍光板29上に配置した適当な間隔の、例えば1mm間隔等のメッシュで、これによって蛍光板29上で発光する集光X線ビーム31の中心位置の変位を容易に計測することができる。32は数10Å以上の長波長側の軟X線～VUV領域を遮断するフィルタで、例えばベリリウム或はアルミニウム等の薄膜を用い、蛍光板29上に露光波長、5～12Åの波長域だけの集光X線ビーム31の蛍光像を発光させ、計測精度を上げることができる。33は蛍光板29を上下に駆動する機構で、露光時には蛍光板をビームラインダクト外の位置に、あるいはビームラインダクト内であってもX線の通過を遮らない位置に待避するものである。この

蛍光板29を駆動装置33によって、露光前に蛍光板を所定の位置に移動して配置し、集光X線ビーム31の中心位置を計測し、シンクロトロン放射光源点2での電子ビーム軌道1の位置変位をモニタすることが可能となる。

【0083】実施例2. 以下、この発明の別の実施例について、図を用いて説明する。図10は、第1のX線反射ミラー24の第2焦点26の位置に配置するX線ビーム位置検出器としてワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器を用いた場合の説明図である。図中(a)は該検出器をX線が通過する様子を示したもので、図中(b)は検出器の断面を示したものである。なお、その基本構成は、従来例の図33に示した通りである。アノード電極16には、集光X線ビームが通過できるように充分大きな穴が開けられおり、水平方向に張ったタングステンワイヤ17、18の間隔、および垂直方向に張ったタングステンワイヤ34、35の間隔を集光X線ビーム31のビーム径約2mmより適当に大きく設定する。図中(b)において、集光X線ビーム31はほぼX線の露光に用いられる5~12Åの波長域に相当し、その外周に示した点線内の領域は露光には関係のない、波長域400~1000Åの軟X線~VUV光が分散する。この軟X線~VUV光が図中(b)のように上記のタングステンワイヤと交差し、発生する光電子電流を測定する。図34に示した校正曲線を用い、露光X線に影響を与えることなく、露光中の集光X線ビームの中心位置の変位を計測することができる。この結果により、図4に示したシンクロトロン放射光源点2の位置変位と集光X線ビーム31の中心位置の変位の線形関係を使って、リアルタイムにシンクロトロン放射光源での電子ビーム軌道の位置変位をモニタし補正することができる。

【0084】実施例3. 以下、この発明の別の実施例について、図を用いて説明する。図11は、第1のX線反射ミラー24の第2焦点26の位置に配置するX線ビーム位置検出器として複数の半導体光検出器を用いた場合の説明図である。図中(a)は該検出器をX線が通過する様子を示したもので、図中(b)は検出器を含む断面を示したものである。図において、36はピン形状のショットキーフォトダイオード等の半導体検出器であり、例えば、GaAsPのショットキーフォトダイオード等を用いる。37は可視光を遮断するフィルター、例えば1μm程度の厚さのベリリウム薄膜等である。図12に膜厚1μmのベリリウム薄膜の透過率を示す。この図から、ベリリウム薄膜が波長域110~130Åの軟X線を透過する特性を持つことがわかる。ピン形状のショットキーフォトダイオード等の半導体検出器36の水平、垂直方向の間隔を集光X線ビーム31のビーム径よりも適当に大きい距離に設定することによって、露光X線に関係のない、集光ビーム径の大きい、波長域110~130Åの軟X線を各半導体検出器36の受光面に入射し、発生電流を計測することができる。この電流値と集光X線ビーム31の中心位置の変位の間には次式に示す関係がある。

$$\Delta y = k_1 \cdot (I_A + I_B - I_C - I_D) / (I_A + I_B + I_C + I_D)$$

$$\Delta x = k_2 \cdot (I_A + I_C - I_B - I_D) / (I_A + I_B + I_C + I_D)$$

ここで、 I_A 、 I_B は半導体検出器36の中で上の左右に配置した半導体検出器36からの電流値、 I_C 、 I_D は下の左右の位置に配置した半導体検出器36からの電流値である。また、 k_1 、 k_2 は位置感度係数である。ステッピングバルスモーター等による駆動機構（図示せず）によって、上記X線ビーム位置検出器を上下、左右に移動させ、その電流値を計測することによって得られる。以上の構成によって、露光X線に影響を与えることなく、露光時間中での集光X線ビームの中心位置の変位を計測することができ、これにより、リアルタイムにシンクロトロン放射光源での電子ビーム軌道の位置変位をモニタし、補正することができる。

【0085】なお、上記実施例では半導体光検出器としてショットキーフォトダイオードと記述したが、上記のような波長域での感度特性があれば、GaAsP型でもGaP型でもよい。また、SiあるいはLi検出器でもよい。さらに、検出器を4個配置した例について示したが、偶数个配置すれば変位量の計算が容易であるが、奇数个配置しても構わない。

【0086】実施例4. 以下、この発明の別の実施例について、図を用いて説明する。図13は図1において、第2のX線反射ミラー27と露光面8との間に、適当な角度範囲で揺動する平面ミラー38を配置した構成図を示している。このような揺動する平面ミラー38を配置することによって、X線を照射領域9内で掃引し、露光フィールド全体に対し安定したX線を露光面に供給できる。

【0087】実施例5. 以下、この発明の別の実施例について、図を用いて説明する。図14は、この発明の一実施例によるX線露光装置の構成を示す図である。図において、第1のX線反射ミラー24は、実施例1と同じような集光特性を持ち、その第1焦点25がシンクロトロン放射光源点2と一致するように配置する。第2のX線反射ミラー27も実施例1の場合と同じような反射特性を持ち、第1のX線反射ミラーを反射したX線ビームを露光面8にコリメートした露光X線として照射する。また、第1のX線反射ミラー24の第2焦点26に実施例1~4で説明したX線ビーム位置検出器23を配置し、上記位置での集光X線ビームの中心位置の変位を計測する。23'は第1のX線反射ミラー24と光源2の間に配置するX線ビーム位置検出器であり、第1のX線反射ミラー24の上流側でのシンクロトロン放射光3の中心位置の変位を計測する。

【0088】次に、動作について説明する。まず実施例1で示した手順で、シンクロトロン放射光源点2の位置変位、即ち、この点での電子ビーム軌道1の位置変位量をX線ビーム位置検出器23での計測データから求める。次に第1のX線反射ミラー24の上流側に配置するX線ビーム位置検出器23'は、水平方向、垂直方向に広がるシ

シンクロトロン放射光 3 のうち第 1 の X 線反射ミラー 24 に入射しないシンクロトロン放射光を取り込むことによって、露光 X 線に影響を与えることなく、X 線ビーム位置検出器 23' の位置でのシンクロトロン放射光 3 の中心位置の変位量を計測し、この計測値及びシンクロトロン放射光源 2 での電子ビーム軌道 1 の位置変位量を使って、上記電子ビーム軌道 1 の角度変位量を求める。これは、従来技術で説明したように、図 37 における

$$\Delta y = \Delta Y + \Delta Y' \times L$$

の ΔY を X 線ビーム位置検出器 23 で算出し、 $\Delta Y' \times L$ を X 線ビーム位置検出器 26 と X 線ビーム位置検出器 23' の差により求めることを意味する。ここで計測した位置変位量と角度変位量が転写精度に対し許容できる範囲内であれば、露光を開始し、電子ビーム軌道の補正の必要があれば、ボタン電極静電誘導型ビーム位置検出器等の電子ビーム位置検出器 12 で測定した、ストレージリングの直線部の上記電子ビーム位置検出器 12 の位置での電子ビーム軌道 1 の位置変位量と上記のシンクロトロン放射光源点 2 での電子ビーム軌道 1 の位置及び角度の変位量から、シンクロトロン放射光源点 2 での電子ビーム軌道 1 の位置及び角度変位が最小になるように電子ビーム軌道 1 の補正条件を、例えばベスト・コレクタ法、フーリエ解析による方法、ローカル・バンプ法等のような電子ビーム軌道の補正法によって制御用計算機 13 を使って計算する。さらにこの情報から各ステアリング電磁石 11 に最適な励磁電流値を設定するように制御することで電子ビーム軌道 1 を補正する。このようなフィードバックシステムを備えることにより、シンクロトロン光源点 2 の位置変位及び光軸 4 方向の角度変位を常に最小にすることができる。従って、光源点 2 で軌道の接線方向へ放射されるシンクロトロン放射光の位置と放射角度を制御することができ、露光面 8 に安定した露光 X 線を供給することができる。以上の、露光工程を図 25 に示す。

【0089】なお、実施例 1 と同様に、電子ビームの軌道制御に、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源での X 線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることにより、制御が迅速に行うことが可能となる。このとき、ステップ 1 の電子ビームの軌道位置の計測結果を併用してもよいし、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源での X 線の位置変位との関係に関する情報といずれかの選択して制御に用いてもよい。また、これら計測と制御は露光中常時実施されることにより、転写精度が向上することはいうまでもない。

【0090】次に第 1 の X 線反射ミラー 24 と光源 2 の間に配置する X 線ビーム位置検出器 23' として 2 分割光電子放出三角電極型 X 線ビーム位置検出器を用いた例について説明する。図 15 は、2 分割光電子放出三角電極型 X 線ビーム位置検出器の説明図である。図中 (a) は該検出器を X 線が通過する様子を示したもので、図中 (b) は検出器を含む断面を示したものである。5 ~ 12 Å の X 線領

域で垂直方向シンクロトロン放射光 3 が、第 1 段 X 線反射ミラー 24 の上流側の左右の位置に配置した上記 2 分割光電子放出型 X 線ビーム位置検出器 23' の三角電極 21、22 に入射することによって放出される光電子電流を測定する。計測される電流値とシンクロトロン放射光 3 の中心位置の変位には次式の関係がある。

$$\Delta y = k_1 \cdot (IA + IB - IC - ID) / (IA + IB + IC + ID)$$

$$\Delta x = k_2 \cdot (IA + IC - IB - ID) / (IA + IB + IC + ID)$$

ここで、IA、IC は第 1 の X 線反射ミラー 24 の上流側の右の位置に配置した 2 分割光電子放出型三角板電極型 X 線ビーム位置検出器 23' の上下の三角板電極 21、22 からの光電子電流値であり、IB、ID は第 1 の X 線反射ミラー 24 の上流側の左の位置に配置した、2 分割光電子放出型三角板電極型 X 線ビーム位置検出器の上下の三角板電極 21、22 からの光電子電流値である。また、 k_1 、 k_2 は位置感度係数である。ステッピングバルスモータ等による駆動機構（図示せず）によって、上記 2 分割光電子放出三角板電極型 X 線ビーム位置検出器 23' を上下、左右に移動させ、その光電子電流値を計測することによって得られる。

【0091】また、上記例において、2 分割光電子放出三角板電極型 X 線ビーム位置検出器 23' をシンクロトロン放射光が三角板電極 21、22 に斜めに入射するよう配置することによって、シンクロトロン放射光による三角板電極 21、22 への熱負荷を軽減し、三角板電極 21、22 の熱歪による測定誤差を小さくすることができる。さらに上流側に数 10 Å 以上の長波長側の軟 X 線 ~ VUV 領域を遮断するフィルタ 32、例えばベリリウム或はアルミニウムの薄膜等を配置することによって、シンクロトロン放射光の中で放射角度広がりの大きい、数 10 Å 以上の長波長域の成分を遮断することによって測定精度を上げることができる。

【0092】次に、第 1 の X 線反射ミラー 24 と光源 2 の間に配置する X 線ビーム位置検出器 23' の近傍にイオン捕獲電極 39 を配置した例について説明する。図 16 は、第 1 の X 線反射ミラー 24 の近傍にイオン捕獲電極 39 を配置した様子を示したもので、第 1 の X 線反射ミラー 24 の表面の X 線照射領域からの光脱離ガスによるイオンが、イオン捕獲電極 39 にトラップされる様子を示す。第 1 の X 線反射ミラー 24 の表面の X 線照射領域からの光脱離ガスによるイオンが、例えば図 15 に示した 2 分割光電子放出三角板電極型 X 線ビーム位置検出器における三角板電極 21、22 へ流れ込むと、光電子電流の測定値に誤差を与えてしまう。これを防止するために、第 1 の X 線反射ミラー 24 と上記 X 線ビーム位置検出器 23' の間の適当な位置に負電位を加えたイオン除去電極 39 を備え、光脱離ガスイオンを除去する。上記のイオン捕獲電極 39 は X 線の光路を妨げない範囲で、第 1 の X 線反射ミラー 24 に近い方がよい。また、図 16 では構成の概念を示しており、図中のイオン捕獲電極用の電源は X 線ビームの通過するダク

ト外に配置されている。

【0093】また、実施例1においても説明したが、第1および第2のX線反射ミラー24、27を6軸ゴニオメーター等の駆動機構28等に搭載し、上記の2枚のX線反射ミラーの位置、方向を補正することによって、露光面8に安定した露光X線を供給することができることはいうまでもない。このX線反射ミラーの駆動制御によるX線露光工程を図26に示す。

【0094】また、図14には示してはいないが、実施例4で示したように、第2のX線反射ミラー27の下流に適当な角度範囲で揺動する平面ミラーを配置すれば、照射領域9を垂直方向に拡大するX線光学系においても、上記平面ミラーに入射するX線ビームは、上記の電子ビーム軌道補正のフィードバックシステム、或は第1、第2のX線反射ミラーの位置、方向に対するフィードバックシステムによって、安定化するので、さらに、露光面8に安定した露光X線を供給することができる。

【0095】実施例6. 以下、この発明の別の実施例について図を用いて説明する。実施例5において、第1のX線反射ミラー24と光源2の間に配置するX線ビーム位置検出器23'として、ワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器を用いた例である。図17はX線露光装置にワイヤ光電子放出型X線ビーム位置検出器を用いた場合の検出器の断面を示す図である。図において、アノード電極16には第1のX線反射ミラー24に入射する領域のシンクロトロン放射光3中で波長域5～12Åの水平方向、垂直方向の幅より適当に大きな幅を持った矩形の穴が開けられている。また、水平方向に張った2本のワイヤ17、18間の距離は上記のアノード電極に開けた穴の垂直方向の幅よりも適当に大きく設定し、垂直方向に張った2本のワイヤ34、35間の距離を上記の穴の水平方向の幅よりも適当に大きく設定する。これにより、シンクロトロン放射光3の中で放射角度広がり大きい、数10Å以上の軟X線～VUV光が上記タングステンワイヤと交差して発生する、光電子電流を計測する。以下、位置計測の原理は実施例2と同様であり、また、角度変位は上記実施例5の場合と同様である。

【0096】実施例7. 以下、この発明の別の実施例について図を用いて説明する。実施例5において、第1のX線反射ミラー24と光源2の間に配置するX線ビーム位置検出器23'として、複数個の、例えば、2個或は4個のピン形状のショットキーフォートダイオード等の半導体検出器を用いた例である。図18は図11に示した構成とほぼ同じである。ピン形状のショットキーフォートダイオード等の半導体検出器36の水平、垂直方向の間隔を第1のX線反射ミラー22に入射する領域のシンクロトロン放射光3中で波長域5～12Åの水平方向、垂直方向の幅よりも適当に大きい距離に設定する。この設定した水平方向、垂直方向の間隔よりも大きい広がりを持っている、波長域110～130Åの軟X線のみが膜厚1μmのベリリウ

ム薄膜等によるフィルタ37を透過し、各半導体検出器36で、受光される。実施例3と同様に発生電流とシンクロトロン放射光3の中心位置の変位の間の関係から、また、実施例5による角度変位の算出方法から、光源2位置での角度変位が求められ、これによって、電子軌道は補正される。また、ステッピングバルスモータ等による駆動機構（図示せず）によって、上記X線ビーム位置検出器を上下、左右に移動させ、その電流値を計測することによって測定精度は向上する。以上の構成であれば、露光X線に影響を与えることなく、シンクロトロン放射光3の中心位置の変位量を計測することができる。

【0097】実施例8. 以下、この発明の別の実施例について図を用いて説明する。図19は、第1のX線反射ミラーが第2の焦点として水平方向と垂直方向の2つを有する場合のX線露光装置の構成を示す図である。図中(a)はX線露光装置全体構成の斜視図、図中(b)は光源から露光面までのビームラインの断面図である。図において、第1のX線反射ミラー24は、水平方向、垂直方向の第2焦点を40、41の2箇所に持ち、シンクロトロン放射光源点2の水平方向、垂直方向の位置変位が、一義的に第2焦点40、41におけるX線ビームの中心位置の水平方向、垂直方向の変位に現われるような反射面を持つ。さらに第1焦点25をシンクロトロン放射光源点2に一致するように配置し、実施例1と同じく第2のX線反射ミラー27は第1のX線反射ミラー24'を反射したX線ビームを露光面8にコリメートした露光X線として照射する反射特性を持つ。また、第1のX線反射ミラー24'の水平方向、垂直方向の焦点位置40、41にそれぞれX線ビームの水平方向、垂直方向の位置を測定する実施例1と同じX線ビーム位置検出器23を配置し、さらに第1のX線反射ミラー24'と光源2の間に、実施例5と同じX線ビーム位置検出器23'を配置する。

【0098】次に動作について説明する。第1のX線反射ミラー24'の反射面の曲面形状として、例えば図7と同じように、水平方向、垂直方向の焦点40、41までの距離を定義し、それぞれ d_7 、 d_8 とすると、次式のようにトロイダル面のメリディアン及びサジタル方向の曲率半径、 R_1 、 ρ_1 が与えられる。

$$(1/d_1 + 1/d_7) \times (1/2 \cos \psi_1) = 1/\rho_1$$

$$(1/d_1 + 1/d_8) \times (\cos \psi_1 / 2) = 1/R_1$$

図20は、第1のX線反射ミラー24の反射面として、上記トロイダル面のパラメータを $d_1=2380\text{mm}$ 、 $d_7=3800\text{mm}$ 、 $d_8=4800\text{mm}$ 、 $\psi_1=88^\circ$ とする曲面形状を持ち、ストレージリングの偏向電磁石の半径が0.59m、シンクロトロン放射光源点2での電子ビームのビームサイズが水平方向に $\sigma_x=0.62\text{mm}$ 、 $\sigma_y=0.67\text{mm}$ である場合における、第1のX線反射ミラー24'の水平方向及び垂直方向の焦点位置40、41でのX線ビーム形状を示したものである。また、図21、22はそれぞれ第2焦点位置40、41での水平方向の変位および垂直方向の変位と電子ビーム軌道

の位置変位の関係を示す図である。シンクロトロン放射光源点での電子ビーム軌道の水平方向或は垂直方向の位置を変化させるとその角度変位にほとんど依存することなく、シンクロトロン放射光源点 2 での電子ビーム軌道 1 の水平方向、垂直方向の位置変位は、図 21、22 に示されるように一義的に、それぞれ第 2 焦点 40、41 の X 線ビームの中心位置の水平方向、垂直方向の変位に現れる。したがって、シンクロトロン放射光源 2 での電子ビーム軌道 1 の位置変位は、第 2 焦点 40、41 における X 線ビームの中心位置の水平方向、垂直方向の変位を計測することによって求められ、さらに実施例 1 と同様、電子ビーム軌道補正のフィードバックシステムによって、シンクロトロン光源点 2 の位置変位を常に最小にすることが可能になり、安定した、再現性の高い X 線を露光面に提供できる。

【0099】また、第 1 の集光 X 線ミラー 24' の第 2 焦点の位置 40、41 に配置する X 線ビーム位置検出器 23 は実施例 1 ～ 3 で示されたものであればいずれでもよい。また、この検出器により、シンクロトロン放射光源 2 の位置変位、即ち、この点での電子ビーム軌道 1 の位置変位を求め、さらに第 1 の X 線反射ミラー 24' と光源 2 の間に配置する X 線ビーム位置検出器 23' によって、水平方向に広がるシンクロトロン放射光 3 のうち、第 1 の X 線反射ミラー 24' に入射しないシンクロトロン放射光を取り込んで、X 線反射ミラー 24' の上流側でのシンクロトロン放射光 3 の中心位置の変位の計測し、上記でもとめた電子ビーム軌道 1 の位置変位から電子ビーム軌道 1 の角度変位をもとめ、シンクロトロン光源点の位置及び光軸 4 方向の角度変位を常に最小にすることができる。なお、X 線ビーム位置検出器 23' は実施例 5 ～ 7 で示されたものであればいずれでもよい。

【0100】また、シンクロトロン放射光源 2 の位置変位及び光軸 4 方向の角度変位に伴う、露光 X 線の特性変位が常に最小になるように第 1、第 2 の X 線反射ミラー 24'、27 の位置、方向を計算し、ミラーステージに備えた 6 軸ゴニオメーターの駆動装置によるフィードバックシステム等によって、上記 X 線反射ミラーの位置、方向を補正することができる。これによりさらに、高精度に制御された X 線を露光面に提供できる。

【0101】また、実施例 4 で配置したような適当な角度範囲で揺動する平面ミラーを第 2 の X 線反射ミラーと露光面の間に配置することによって、照射領域 9 を垂直方向に拡大する X 線光学系においても、上記平面ミラーに入射する X 線ビームは、上記の電子ビーム軌道補正のフィードバックシステム、あるいは第 1、第 2 の X 線反射ミラーの位置、方向に対するフィードバックシステムによって、安定化するので、露光面 8 に安定した露光 X 線を供給することができる。

【0102】実施例 9 以下、この発明の別の実施例について図を用いて説明する。図 23 は、この発明の一実施

例による X 線露光装置を示す構成図で、露光用ビームラインと計測用ビームラインを独立して設けた構成となっている。図において、2' は X 線露光装置のシンクロトロン放射光源点 2 から電子ビーム軌道 1 に沿って適当に離れた別のシンクロトロン放射光源点であり、3' はシンクロトロン放射光源点 2' から放射するシンクロトロン放射光であり、42 は実施例 1 における第 1 の X 線反射ミラー 24 と同じ集光特性を持ち、シンクロトロン放射光源点 2' の位置変位が、一義的に第 2 焦点 26 の集光 X 線ビームの中心位置の変位に現われるような、X 線反射ミラーであり、その第 1 焦点がシンクロトロン放射光源 2' と一致するように配置している。X 線反射ミラー 42 の第 2 焦点 26 の位置に実施例 1 と同様 X 線ビーム位置検出器 23 を配置し、上記位置での集光 X 線ビーム 31 の中心位置の変位を計測する。また、X 線反射ミラー 42 の上流側に実施例 5 と同様 X 線ビーム位置検出器 23' を配置し、X 線反射ミラー 42 の上流側でのシンクロトロン放射光 3' の中心位置の変位を計測する。

【0103】次に、動作について説明する。X 線露光装置の露光ビームライン上にシンクロトロン放射光に対する焦点を持たない X 線光学系、例えば、平面 X 線ミラーで構成されるもの、従来例で示した円筒ミラーで構成されるもの、或は凸形状ミラーによる拡大 X 線光学系等を有する X 線露光装置に対して、そのシンクロトロン放射光源点 2 の位置変位及び光軸 4 方向の角度変位を最小にすることを目的とするものである。偏向電磁石内には強収束の 4 極電磁石が無い場合、一般に電子ビーム軌道を記述するベータatron 関数がゆるやかに変化する関数になり、電子ビーム軌道 1 の位置及び角度の変位量は、電子ビーム軌道 1 に沿ってゆるやかに変化するものになる。したがって、シンクロトロン放射光源 2 での電子ビーム軌道 1 の位置及び角度の変位量と上記シンクロトロン放射光源点 2 から電子ビーム軌道 1 上に沿って適当に離れた位置にある別のシンクロトロン放射光源点 2' での電子ビーム軌道の位置及び角度の変位量は、無視できるものとする。したがって、上記の適当に離れたシンクロトロン放射光源点 2' の変位を補正することができれば、露光ビームラインのシンクロトロン放射光源点 2 の変位を補正でき、制御性の高い X 線を露光面に供給することになる。例えば、計測ビームラインにおいて、シンクロトロン放射光 3' を水平方向及び垂直方向に同一の焦点に結ばせ、シンクロトロン放射光源点 2' の位置変位が、一義的に第 2 焦点 24 の集光 X 線ビームの中心位置の変位に現われるような反射面を持つ X 線反射ミラー 42 をその第 1 焦点が上記のシンクロトロン放射光源点 2' に一致するように配置する。実施例 1 と同様、上記 X 線反射ミラー 42 の第 2 焦点の位置に X 線ビーム位置検出器を配置することによってシンクロトロン放射光源 2' の位置変位、即ち、この点での電子ビーム軌道 1 の位置変位をモニタし、シンクロトロン放射光源点 2' で

の電子ビーム軌道 1 の位置変位を最小にすることができ、その結果、X線露光装置のシンクロトロン放射光源 2 の位置変位を最小にすることができる。すなわち、露光面に制御性の高いX線を供給することができる。以上の露光工程を図27に示す。

【0104】また、図4で説明したように、上記X線反射ミラー42の第2焦点での集光X線ビームの中心位置の変位量とシンクロトロン放射光源点 2' の位置変位量の比が第2焦点までの距離と第1焦点の距離の比にほぼ等しい値を持つので、X線反射ミラーの反射面として第1焦点及び第2焦点の焦点距離の比を適当に設定した曲面形状を持たせることによって、上記電子ビーム軌道 1 の位置変位が適当に拡大して、第2焦点での集光X線ビームの中心位置の変位に現われるようにすることによって、測定精度をあげることができる。すなわち第1焦点距離より第2焦点距離を大きくすればよい。

【0105】また、X線反射ミラー42の上流側に実施例 5～7で記載されたようなX線ビーム位置検出器を配置し、X線反射ミラーの上流側のシンクロトロン放射光の中心位置の変位を計測することによって、シンクロトロン放射光計測用ビームラインのシンクロトロン放射光源点 2' での電子ビーム軌道 1 の位置及び角度変位量をモニターし、実施例 5 と同じ手法に従って、上記シンクロトロン放射光源点 2' での電子ビーム軌道 1 の位置及び角度の変位を最小にするように電子ビーム軌道を補正することができ、その結果、X線露光装置のシンクロトロン放射光源点 2 の位置及び光軸 4 方向の角度変位を最小にすることができる。

【0106】また、上記計測用ビームラインのX線光学系によってもとめた、上記シンクロトロン放射光源点 2' の電子ビーム軌道 1 の位置変位、或は位置及び角度変位により電子軌道を補正することで、X線露光装置のシンクロトロン放射光源点 2 での電子ビーム軌道 1 が補正され、これらの変位量をもとに、シンクロトロン放射光源点 2 の位置変位、光軸 4 方向の角度変位を評価し、露光面に入射する露光X線の特性変化、例えば露光面上の照射領域 9 の形状及び位置、露光X線強度、露光X線の入射角度分布等の変位が最小になるようにX線露光装置のX線光学系に配置したX線反射ミラーの位置、方向の補正値を適当に計算し、ミラーステージの駆動機構によって上記のX線反射ミラーの位置、方向を補正することができる。このX線反射ミラーの駆動制御によるX線露光工程を図28に示す。

【0107】なお、実施例 1 及び実施例 5 で説明したように、電子ビームの軌道制御に、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることにより、制御が迅速に行うことが可能となる。このとき、ステップ 1 の電子ビームの軌道位置の計測結果を併用してもよいし、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源でのX線の位

置変位との関係に関する情報といずれかの選択して制御に用いてもよい。また、これら計測と制御は露光中常時実施されることにより、転写精度が向上することはいうまでもない。

【0108】

【発明の効果】以上のように、請求項 1 の発明によれば、X線光学系自身にX線ビーム位置検出器を配置したので、露光時にリアルタイムで電子ビームの軌道位置補正ができる。また、その補正精度が向上し、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0109】請求項 2 の発明によれば、請求項 1 において、X線計測用ビームラインとX線露光用ビームラインを独立して設けたので、露光時にリアルタイムで電子ビームの軌道位置補正ができ、さらにX線露光用ビームラインに配置するX線反射ミラーの反射面の曲面形状を任意に選択することができる。

【0110】請求項 3 の発明によれば、請求項 2 において、X線計測用ビームラインに配置したX線反射ミラーの焦点距離を制御し、位置計測精度を向上させたので、電子ビームの軌道位置補正の精度も向上する。従って、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0111】以上のように、請求項 4 の発明によれば、請求項 1、2 において、X線ビーム位置を第 1 の反射ミラーの焦点で計測したので、光源での位置変位量が容易に算出でき、電子ビームの軌道位置補正を迅速に行うことができる。

【0112】請求項 5、6 の発明によれば、請求項 4 において、第 1 のX線反射ミラーとして、水平及び垂直方向の焦点が一致する曲面形状、回転楕円体面、トロイダル面を有するミラーを用いたので、X線ビーム位置を 1 箇所配置すればよく簡便な構成で計測が可能となる。

【0113】請求項 7、8 の発明によれば、請求項 4 において、第 1 のX線反射ミラーとして、水平及び垂直方向でそれぞれ焦点を有する曲面形状、回転楕円体面、トロイダル面を有するミラーを用いたので、X線ビーム位置をそれぞれの焦点位置で精度よく計測でき、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0114】請求項 9 の発明によれば、請求項 5～8 において、第 2 のX線反射ミラーとして曲面形状が回転楕円体面、トロイダル面又は回転放物面であるミラーを用いたので、焦点を結んだ後のX線を精度よくコリメートして露光面に供給でき、転写精度が向上する。

【0115】請求項 10 の発明によれば、請求項 9 において、第 2 のX線反射ミラーとX線マスクの間に揺動する平面ミラーを配置したので、露光面に安定した露光X線を供給することができ、転写精度が向上する。

【0116】請求項 11、12 の発明によれば、請求項 4 において、第 1 のX線反射ミラーと光源との間にさらにX線ビーム位置検出器を配置し、その近傍に検出器のノイズ要因となるイオンをトラップするイオン捕獲電極

を設けたので、さらに電子ビームの軌道位置補正の精度が向上し、露光面にさらに安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0117】請求項13の発明によれば、請求項1、2において、X線反射ミラーに駆動制御機構を備えたので、電子ビームの軌道補正だけでは不十分なX線ビームのずれも精度よく補正でき、露光面にさらに安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0118】請求項14～18、20の発明によれば、請求項4、9において、所望のフィルタや駆動機構等を備えた、蛍光板、ワイヤ光電子放出型検出器、半導体光検出器、2分割光電子放出三角板電極型検出器のようなX線ビーム位置検出器を配置したので、精度よくX線ビーム位置を計測することができ、従って、電子ビームの軌道を精度よく補正できるので、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0119】請求項19の発明によれば、請求項18において、三角電極にX線が斜めに照射するように検出器を配置したので、X線照射によって電極の温度が上昇し、その結果電極の熱歪による検出誤差を除去することができ、精度よくX線ビーム位置を計測することができる。これにより、電子ビームの軌道を精度よく補正でき、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0120】請求項21の発明によれば、ストレージリング内での電子ビーム軌道位置とX線光学系におけるX線ビームの位置計測を併せて電子ビーム軌道を補正する方法を用いたので、電子ビームの軌道を精度よく補正できるので、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0121】請求項22の発明によれば、請求項21において、さらにX線光学系におけるX線ビームの位置計測に光軸の角度変位を考慮して電子ビームの軌道を補正する方法を用いたので、露光面にさらに安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0122】請求項23の発明によれば、請求項21、22において、さらに露光面であるウエハ上のX線の変位量が最小となるように、X線ミラーを駆動制御したので、露光面での転写精度が向上する。

【0123】請求項24の発明によれば、ストレージリング内での電子ビーム軌道位置とX線露光用ビームラインとは別のX線計測ラインでのX線ビーム位置、光軸の角度計測を併用して電子ビーム軌道を補正する方法を用いたので、露光時にリアルタイムで電子ビームの軌道を精度よく補正できるので、露光面に安定した制御性の高いX線を供給できる。

【0124】請求項25の発明によれば、請求項24において、さらに露光面であるウエハ上のX線の変位量が最小となるように、X線ミラーを駆動制御したので、露光面での転写精度が向上する。

【0125】請求項26の発明によれば、請求項21～

25において、予め求めておいた電磁石の励磁条件と光源でのX線の位置変位又は光軸の角度変位との関係に関する情報を用いることにより、制御が迅速に行うことが可能となり、転写精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施例1によるX線露光装置を示す構成図である。

【図2】 この発明の実施例1に係わる第1のX線反射ミラーの反射面の曲面形状を説明するための図である。

【図3】 この発明の実施例1に係わる第1のX線反射ミラーの反射面の曲面形状の一部を示す図である。

【図4】 この発明の実施例1に係わる第1のX線反射ミラーの第2焦点位置でのX線ビームの中心位置の変位と電子ビーム軌道の位置変位の関係を表わす図である。

【図5】 この発明の実施例1に係わる第1のX線反射ミラーの反射面の曲面形状の一部を示す図である。

【図6】 この発明の実施例1に係わる第2のX線反射ミラーの反射面の曲面形状を説明するための図である。

【図7】 この発明の実施例1に係わる第2のX線反射ミラーの反射面の曲面形状を説明するための図である。

【図8】 この発明の実施例1に係わる第2のX線反射ミラーの反射面の曲面形状を説明するための図である。

【図9】 この発明の実施例1に係わる第1のX線反射ミラーの第2焦点位置に配置するX線ビーム位置検出器である蛍光板の配置図である。

【図10】 この発明の実施例2に係わる第1X線反射ミラーの第2焦点位置に配置するX線ビーム位置検出器であるワイヤ光電子放出型検出器の構成図である。

【図11】 この発明の実施例3に係わる第1のX線反射ミラーの第2焦点位置に配置するX線ビーム位置検出器の構成図である。

【図12】 図11に示すX線ビーム位置検出器の前面に配置するベリリウムフィルタの透過率の波長依存性を示したものである。

【図13】 この発明の実施例4によるX線露光装置を示す構成図で、揺動する平面ミラーを配置した図である。

【図14】 この発明の実施例5によるX線露光装置を示す構成図である。

【図15】 この発明の実施例5に係わる第1のX線反射ミラーと光源の間に配置したX線ビーム位置検出器である2分割光電子放出三角板電極型検出器の構成図である。

【図16】 この発明の実施例5に係わる第1のX線反射ミラーと光源の間に配置したX線ビーム位置検出器の近傍にイオン捕獲電極を配置した構成図である。

【図17】 この発明の実施例6に係わる第1のX線反射ミラーと光源の間に配置したX線ビーム位置検出器であるワイヤ光電子放出型検出器の断面構成図である。

【図18】 この発明の実施例7に係わる第1のX線反

射ミラーと光源の間に配置したX線ビーム位置検出器である半導体光検出器の断面構成図である。

【図19】 この発明の実施例8によるX線露光装置を示す構成図である。

【図20】 この発明の実施例8に係わる第1のX線反射ミラーの水平方向、垂直方向の焦点位置でのX線ビーム形状を示したものである。

【図21】 この発明の実施例8に係わる第1のX線反射ミラーの水平方向の焦点位置でのX線ビームの中心位置の水平方向の変位と電子ビーム軌道の水平方向の位置変位の関係を表わす図である。

【図22】 この発明の実施例8に係わる第1のX線反射ミラーの垂直方向の焦点位置でのX線ビームの中心位置の垂直方向の変位と電子ビーム軌道の水平方向の位置変位の関係を表わす図である。

【図23】 この発明の実施例9によるX線露光装置を示す構成図である。

【図24】 この発明の実施例1に係わるX線露光手順を示す露光工程図である。

【図25】 この発明の実施例5に係わるX線露光手順を示す露光工程図である。

【図26】 この発明の実施例1、5に係わるX線露光手順を示す別の露光工程図である。

【図27】 この発明の実施例9に係わるX線露光手順を示す露光工程図である。

【図28】 この発明の実施例9に係わるX線露光手順を示す別の露光工程図である。

【図29】 従来のX線露光装置の構成を示す構成図である。

【図30】 従来のX線露光装置における露光面上でのX線の照射領域である。

【図31】 ストレージリングに設置する、従来のビーム位置検出器の1例であるボタン型静電誘導ビーム位置検出器の構成図である。

【図32】 従来のX線露光装置の構成を示す別の構成図で、ストレージリングに備えた従来の電子ビーム軌道補正のフィードバックシステムの概略を示す図である。

【図33】 シンクロトロン放射光計測用ビームラインに設置する、従来のX線ビーム位置検出器の1例である2ワイヤ光電子放出型検出器の構成図である。

【図34】 図33に示す、X線ビーム位置検出器の校正曲線である。

【図35】 シンクロトロン放射光計測用ビームラインに設置する、従来のX線ビーム位置検出器の他の例である2分割イオン・チャンバ型検出器の構成図である。

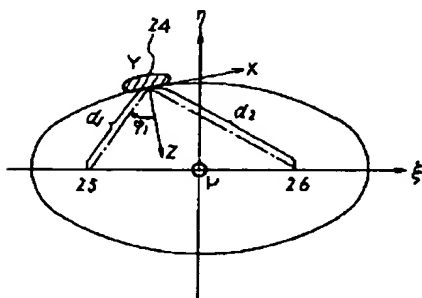
【図36】 シンクロトロン放射光計測用ビームラインを備えた、従来の電子ビーム軌道補正のフィードバックシステムの概略を示す図である。

【図37】 電子ビーム軌道の位置変位とシンクロトロン放射光の位置変位の関係を図示したものである。

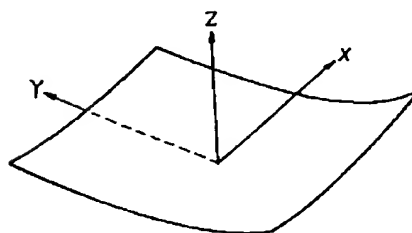
【符号の説明】

1 電子ビーム軌道、 2、2' シンクロトロン放射光源、3、3' シンクロトロン放射光、 4 光軸、 5 円筒面状のX線反射ミラー、 6 X線ビーム、 7 真空窓、 8 ウェハ上の露光面、 9、9a、9b 露光面上の照射領域、10 露光フィールド、 11 ステアリング電磁石、
12 ボタン電極静電誘導型ビーム位置検出器、 13 制御用計算機、
14 ビームダクト、 15A~15B ボタン型電極、 16 アノード電極、17、18 タングステンワイヤ、 19 イオンチャンバ、 20 アノード電極、21 三角板電極、 22 三角板電極、 23、23' X線ビーム位置検出器、24、24' 第1のX線反射ミラー、 25 第1のX線反射ミラーの第1焦点、26 第1のX線反射ミラーの第2焦点、 27 第2のX線反射ミラー、28 駆動装置付ミラーステージ、 29 蛍光板、 30 メッシュ、31 集光X線ビーム、 32 フィルタ、 33 駆動装置、34、35 タングステンワイヤ、 36 半導体光検出器、 37 フィルタ、38 揺動機構付平面ミラー、 39 イオン除去装置、40 第1のX線反射ミラー24'の第2焦点のうち水平方向の焦点、41 第1のX線反射ミラー24'の第2焦点のうち垂直方向の焦点、42 X線反射ミラー、 43 偏向磁石

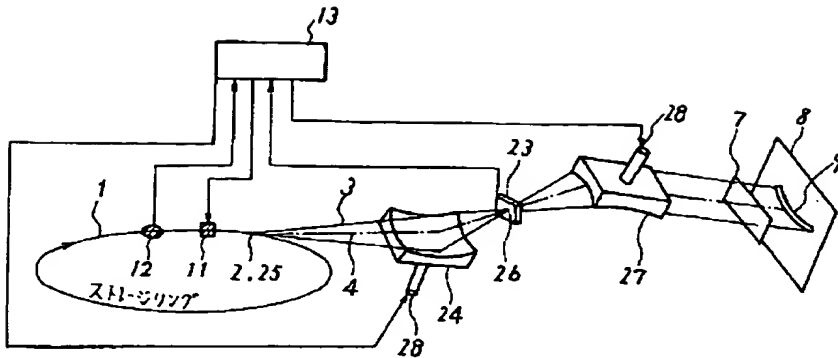
【図2】



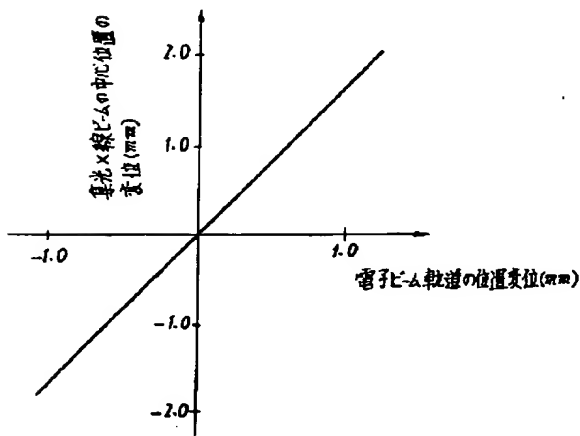
【図3】



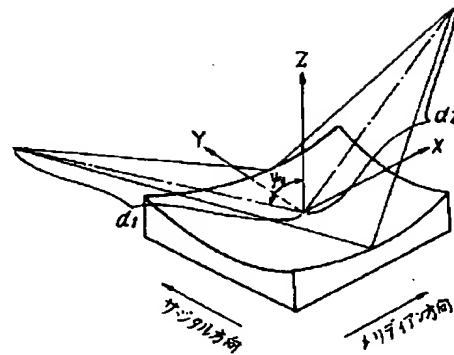
【図1】



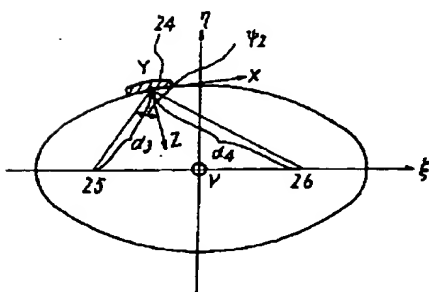
【図4】



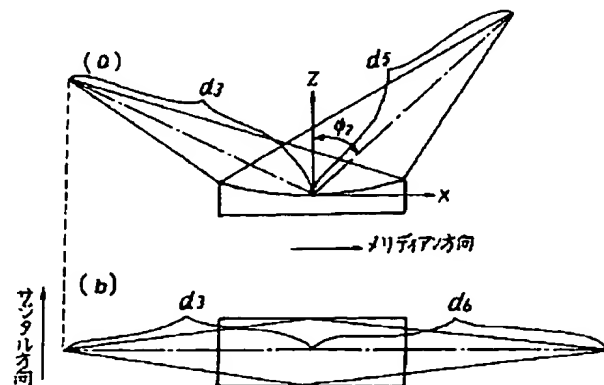
【図5】



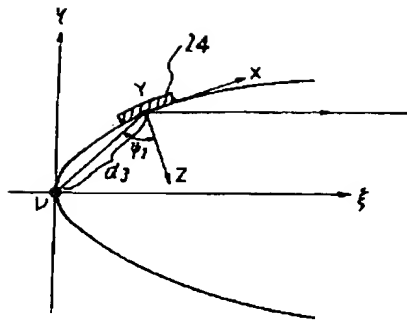
【図6】



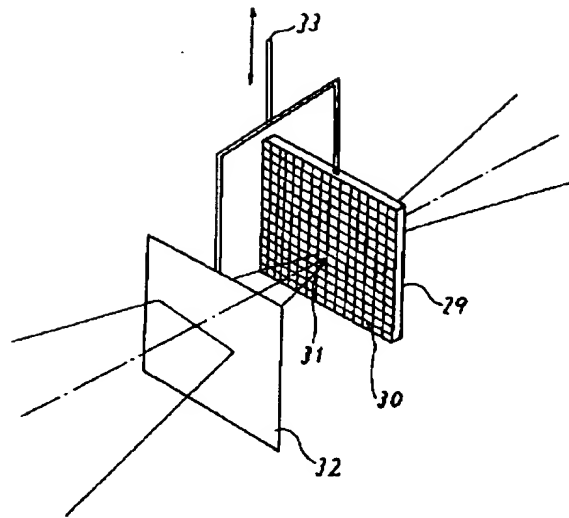
【図7】



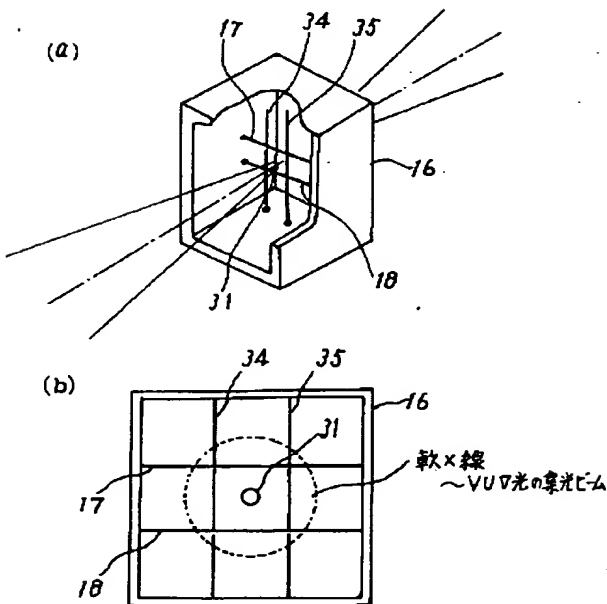
【図 8】



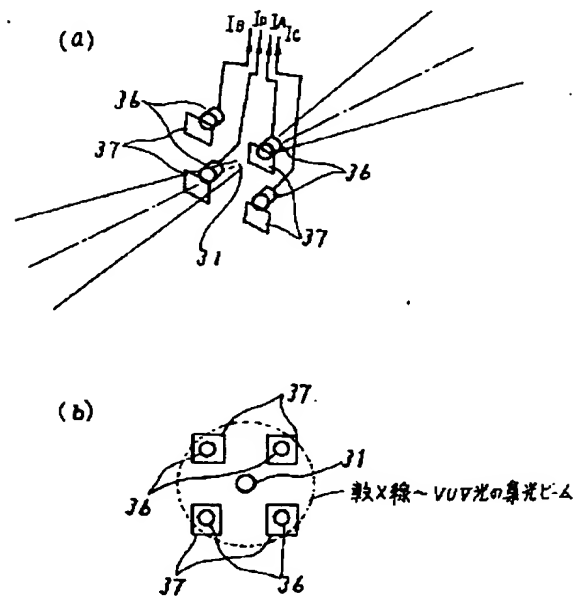
【図 9】



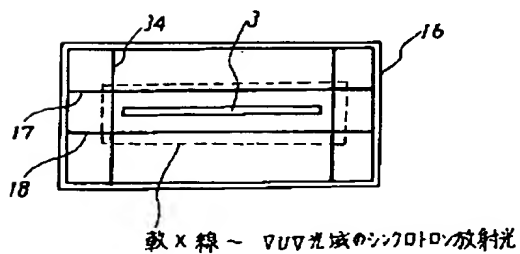
【図 10】



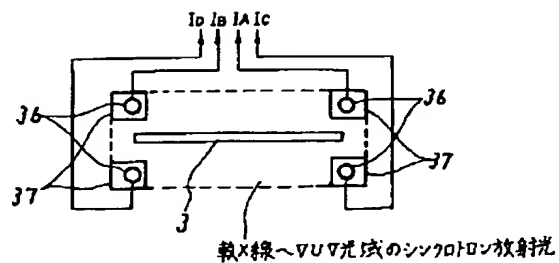
【図 11】



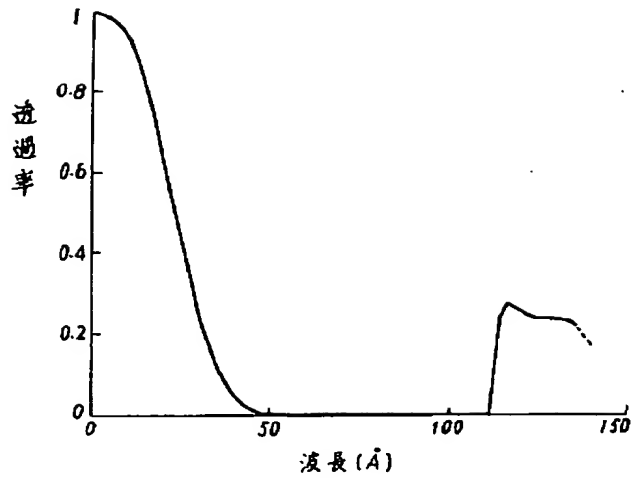
【図 17】



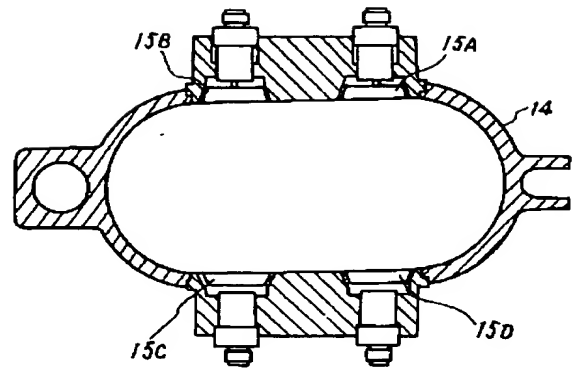
【図 18】



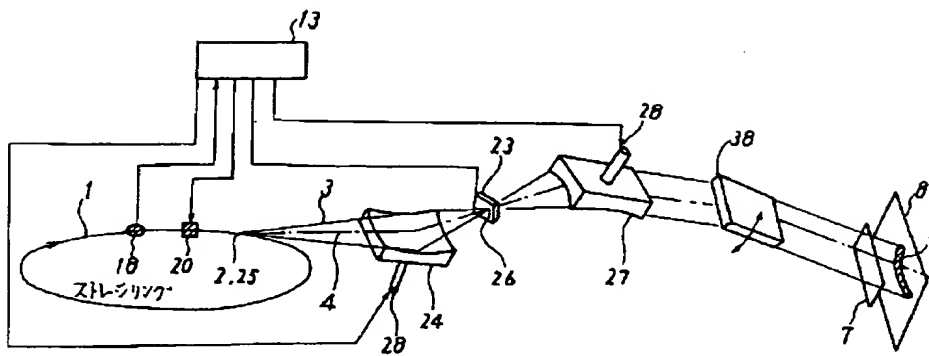
【図 1 2】



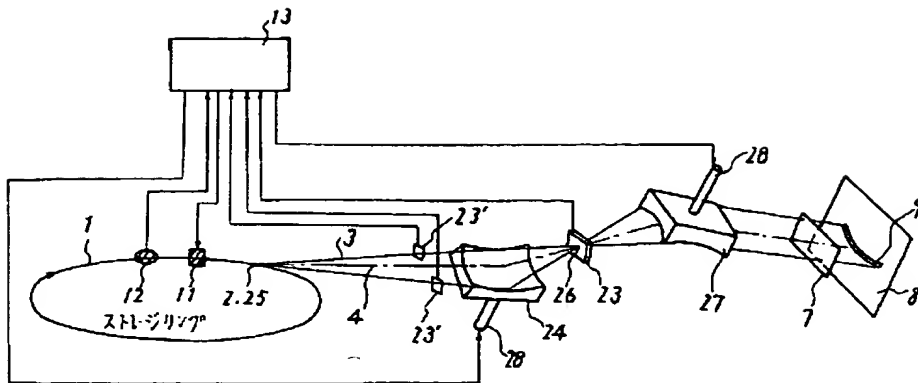
【図 3 1】



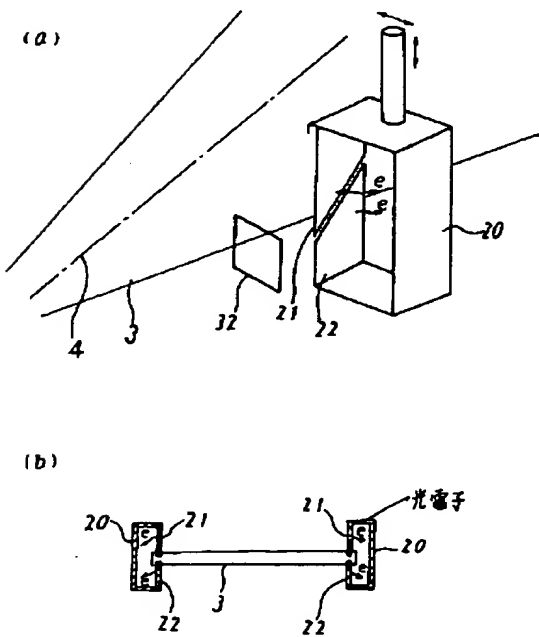
【図 1 3】



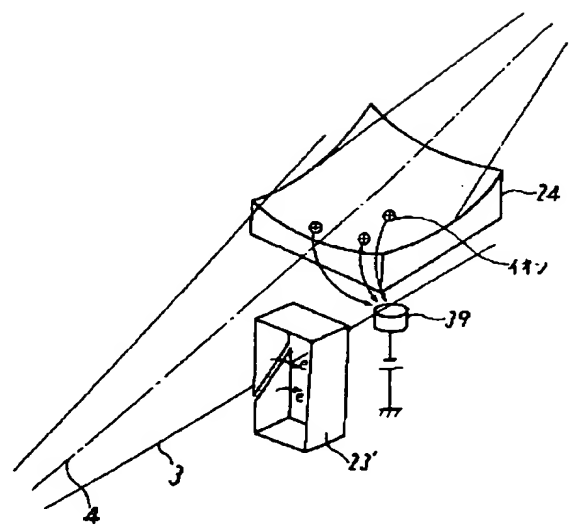
【図 14】



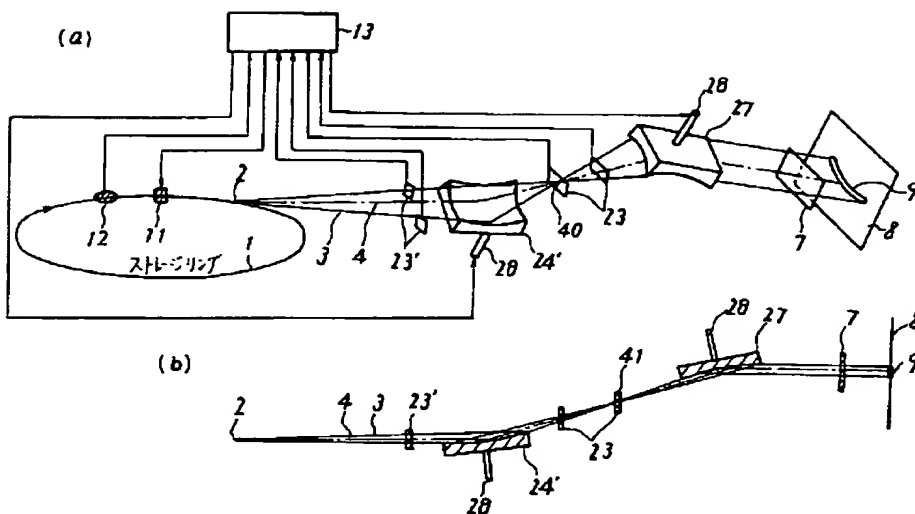
【図 15】



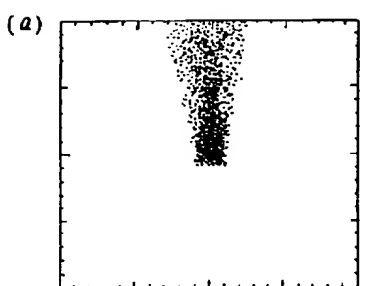
【図 16】



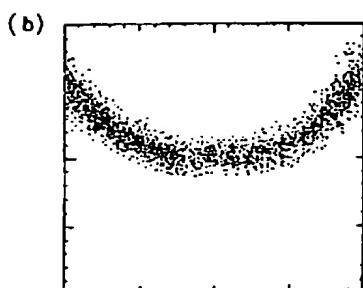
【図19】



【図20】

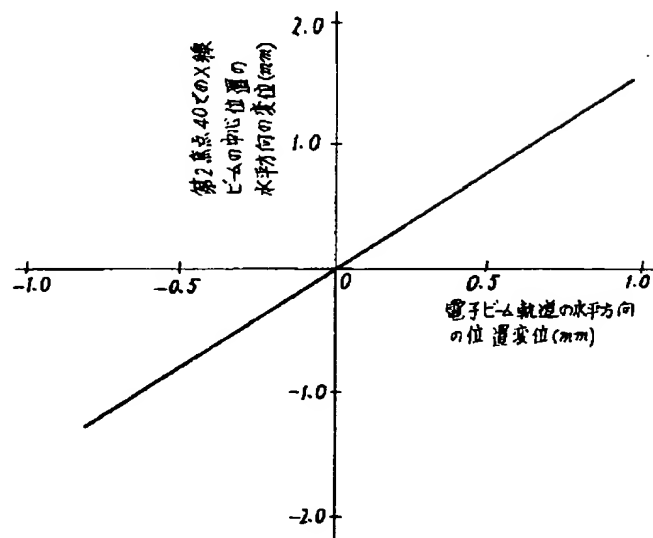


(水平方向の焦点でのX線ビーム形状)

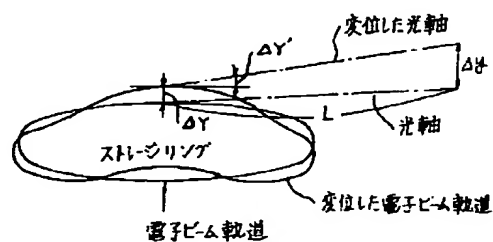


(垂直方向の焦点でのX線ビーム形状)

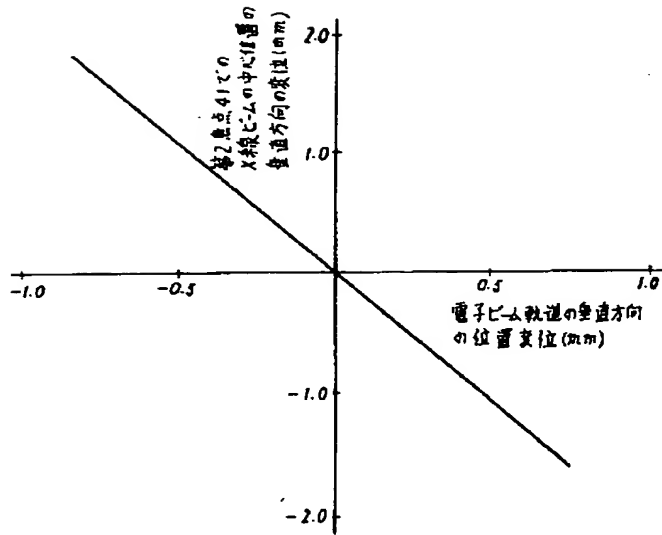
【図21】



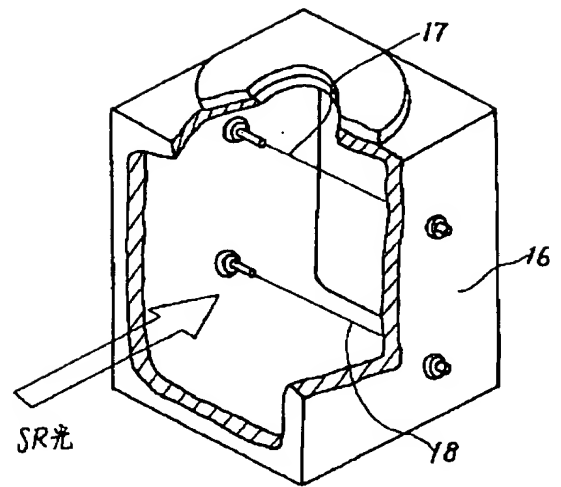
【図37】



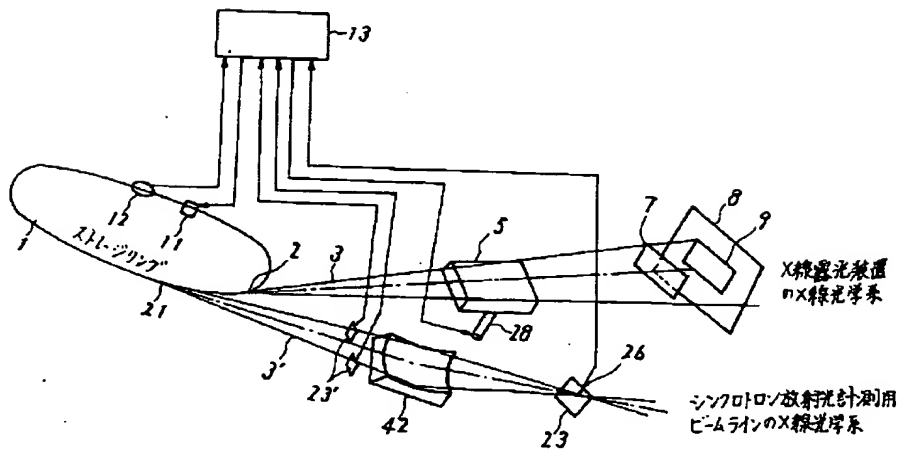
【図22】



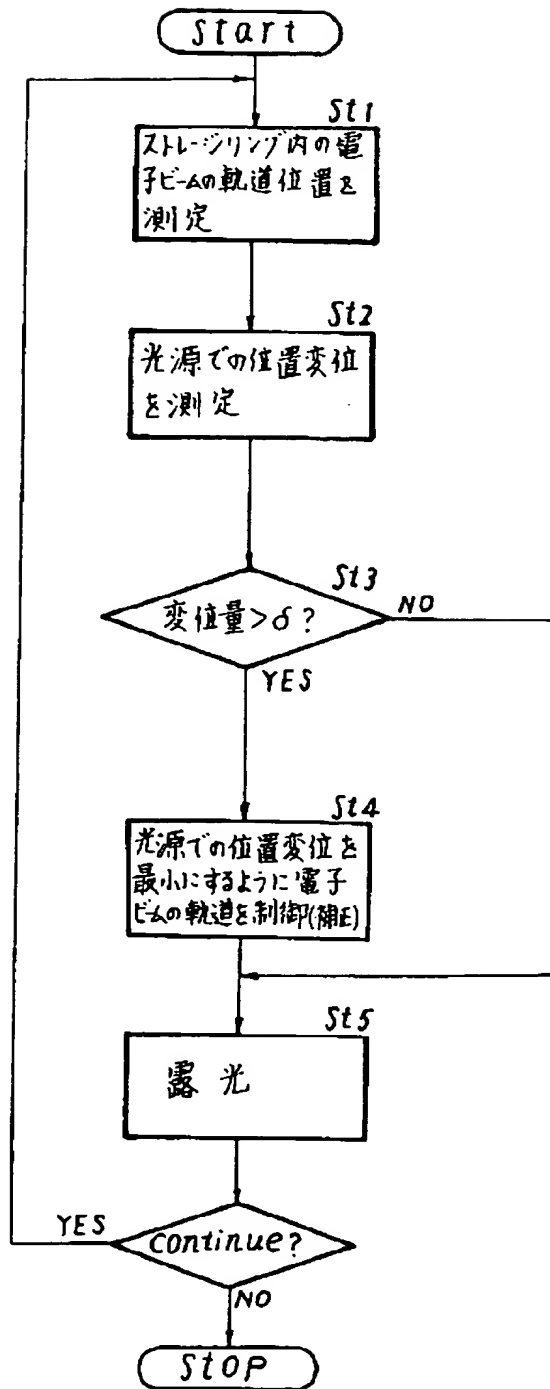
【図33】



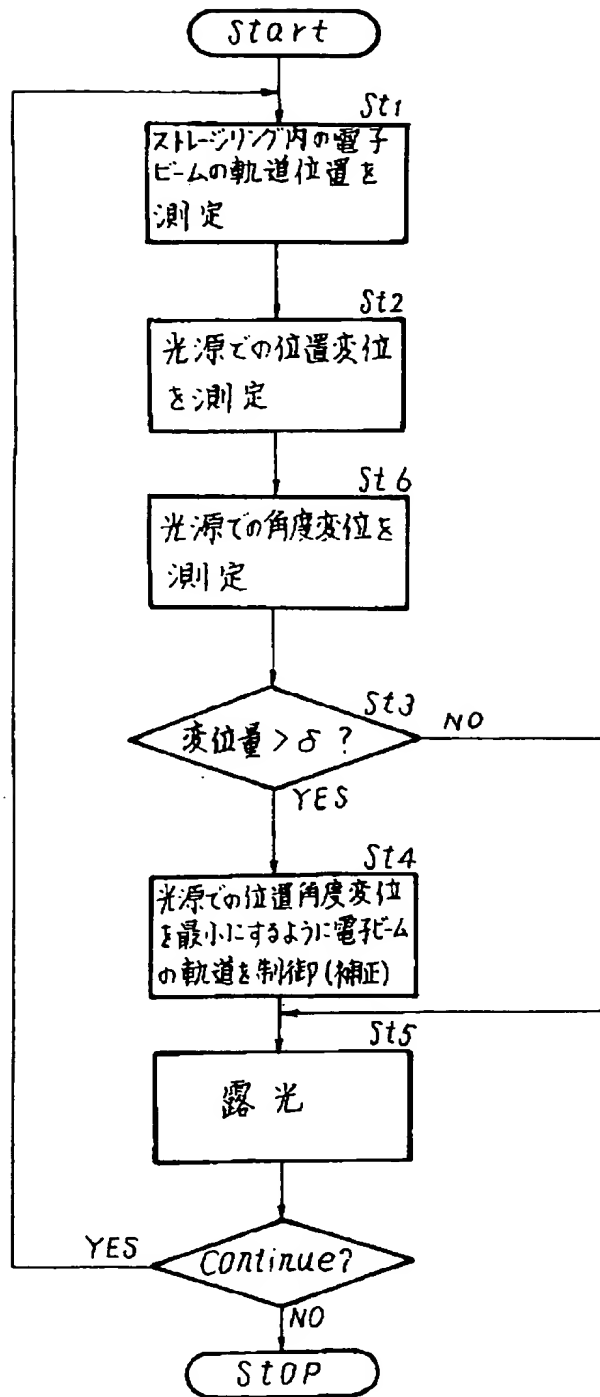
【図23】



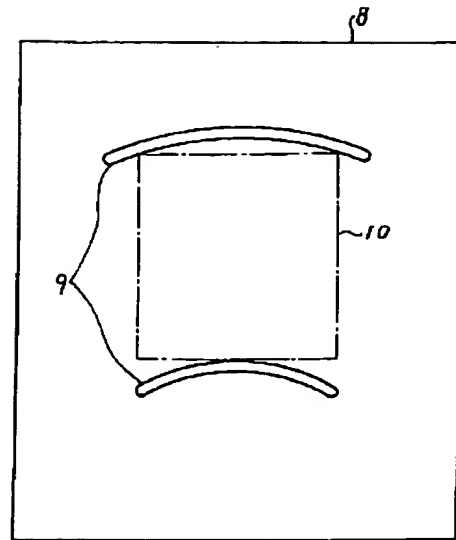
【図24】



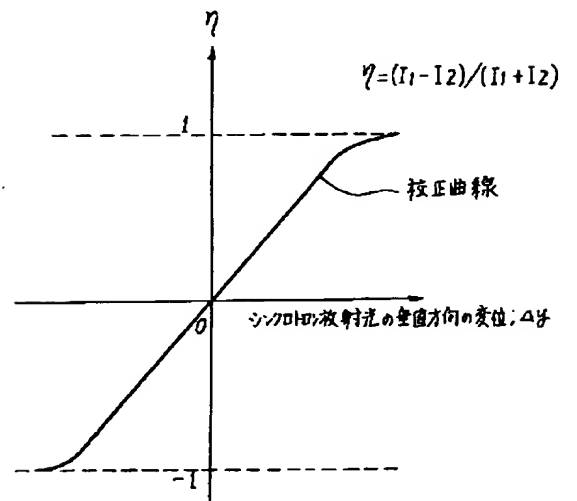
【図25】



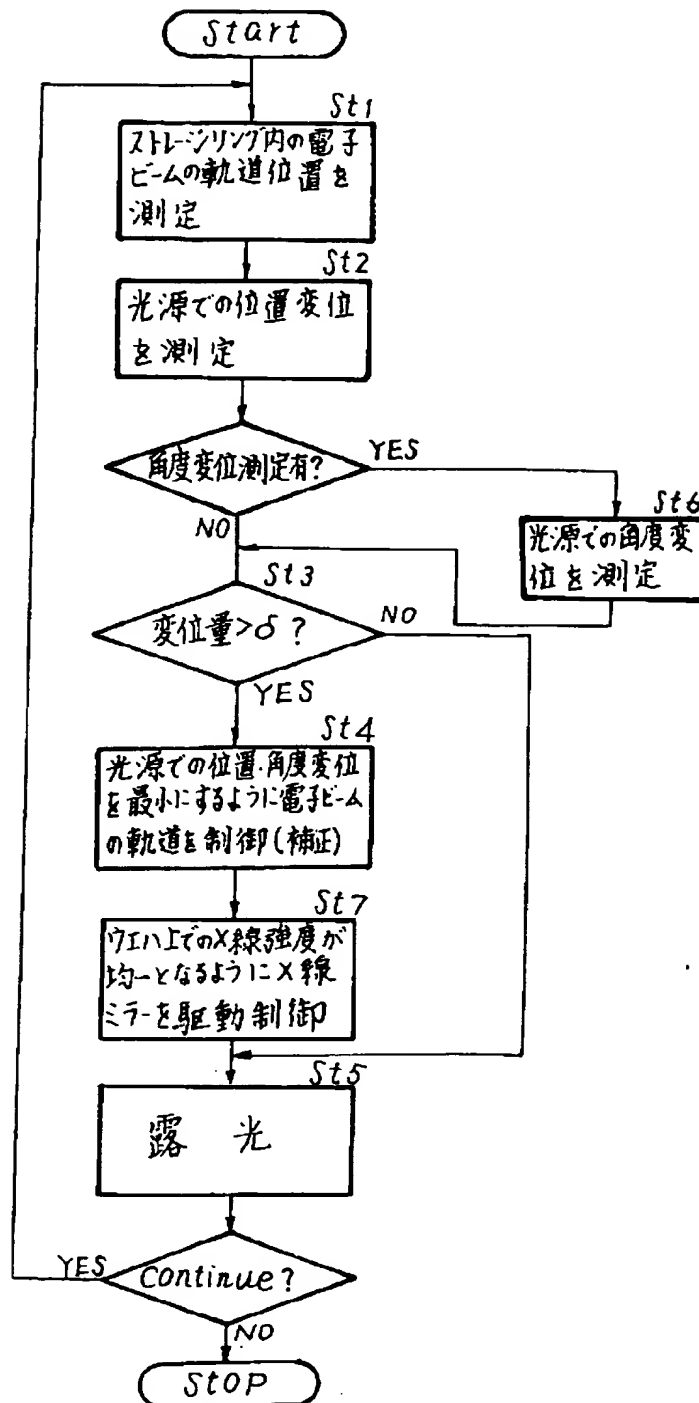
【図30】



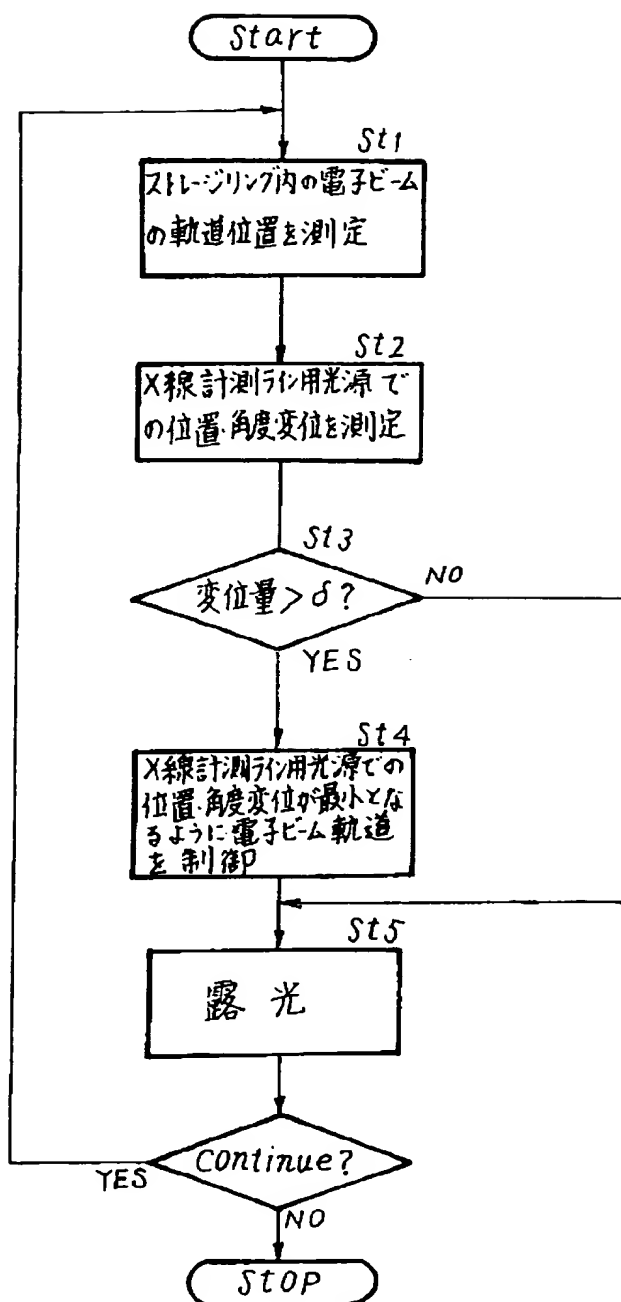
【図34】



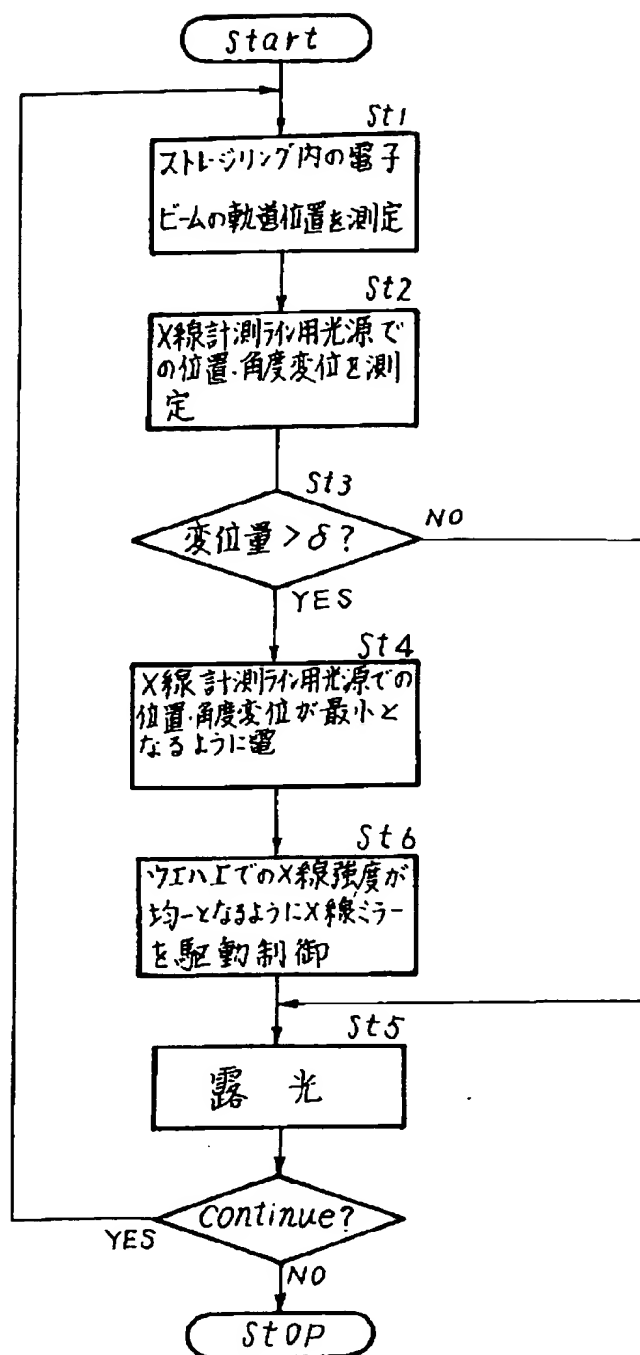
【図 26】



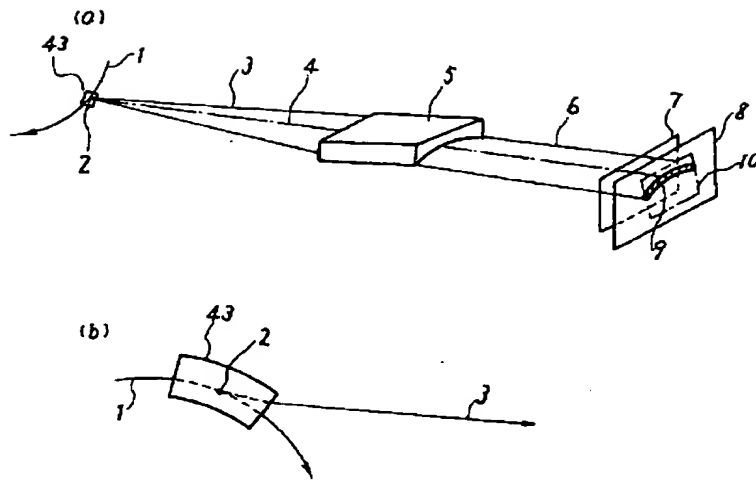
【図 27】



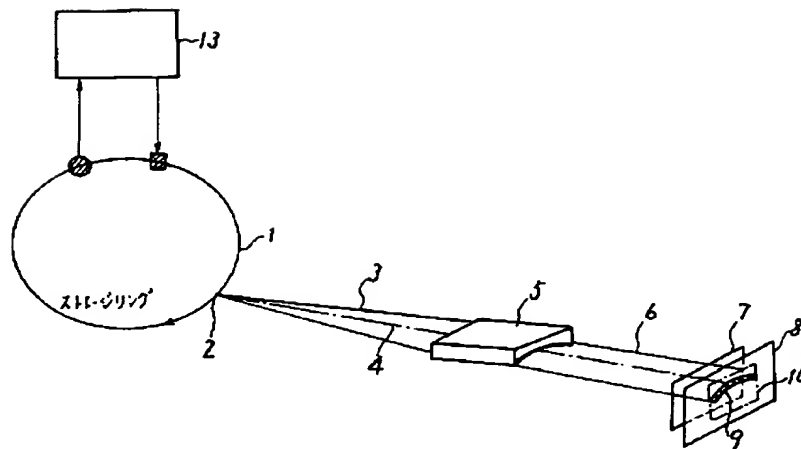
【図 28】



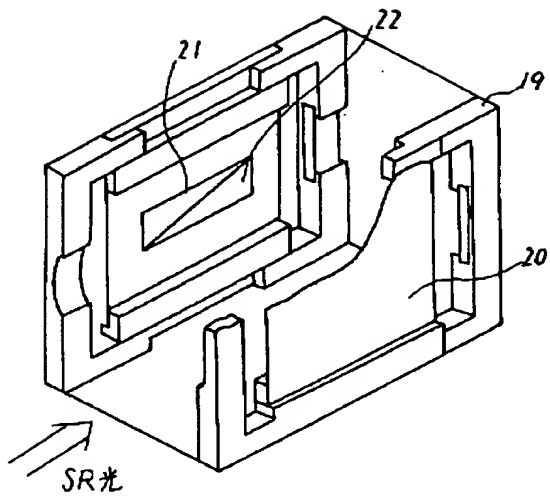
【図29】



【図32】



【図 3 5】



【図 3 6】

